

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'un prototip d'una màquina llançadora de
pilotes de tennis

MEMÒRIA

Autors:

Jordi Bravo Canales
Sergi Vidal i Mauricio

Director:

Emilio Angulo Navarro

Convocatòria:

Juny 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



1. Resum

El treball aborda les primeres fases del disseny d'un prototip de màquina llançadora de pilotes de tennis, tal que es completa gran part del disseny preliminar de la màquina. Es plantejen especificacions innovadores respecte la oferta en el mercat per assolir un avantatge competitiu.

La màquina serà capaç de simular llançaments de tipus servei i tir de camp, mitjançant un sistema d'elevació que varia l'alçada del punt de llançament i un conjunt de tres rodes motoritzades que impulsaran la pilota. S'assoliran velocitats de fins a 180 km/h i es podran realitzar llançaments amb efectes. A més, l'usuari podrà realitzar la selecció de llançaments mitjançant una *app* de *smartphone* que li permetrà fer la configuració de manera intuïtiva i ràpida.

Per tal de desenvolupar el treball, aquest s'estructura en dues branques:

- Disseny mecànic: es representa en CAD el disseny complet de la màquina, que està dividit en el conjunt de llançament (format per tres xassissos), el sistema d'elevació, la base de la màquina i el sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes. El disseny CAD s'ha realitzat amb el programari *SolidWorks*.
- Entorn de control: s'obtenen les dades dels llançaments i s'implementa un programa que centralitza el control de la màquina, a més es dissenya l'*app* que fa de nexa entre màquina i jugador. Aquesta branca es divideix en dos blocs principals:
 - Simulació de llançaments: s'implementa el model dinàmic dels llançaments mitjançant el programari *Matlab* i s'empra per calcular totes les dades de llançaments possibles.
 - Disseny del sistema de gestió de dades: es crea un sistema que permetrà obtenir els paràmetres necessaris per a la màquina a partir dels llançaments programats pel jugador. El disseny inclou el programa del nucli de control, una base de dades amb els llançaments possibles i l'*app* dissenyada.

2. Sumari

1.	Resum	1
2.	Sumari	3
3.	Glossari.....	5
4.	Objectius i abast.....	8
4.1.	Objectius.....	8
4.2.	Abast.....	8
5.	Justificació	10
5.1.	Justificació industrial	10
5.2.	Motivació personal.....	11
6.	Antecedents	12
6.1.1.	Descripció.....	12
6.1.2.	Funcionament bàsic	12
6.1.3.	Segmentació.....	13
6.1.4.	Disseny d'inspiració	14
6.1.5.	Patents	16
7.	Especificació.....	18
8.	Disseny conceptual	21
8.1.	Descomposició funcional	21
8.1.1.	Branca del disseny mecànic	21
8.1.2.	Branca de l'entorn de control de la màquina	22
8.2.	Descripció del disseny	22
8.3.	Decisions transversals del disseny	23
8.4.	Estructuració del disseny	25
9.	Disseny detallat – Part mecànica	27
9.1.	Introducció al disseny mecànic	27
9.2.	Disseny mecànic	30
9.2.1.	Xassís A.....	30
9.2.2.	Xassís B.....	34
9.2.3.	Xassís C.....	37
9.2.4.	Sistema d'elevació	45
9.2.5.	Emmagatzematge i captació de pilotes	48
9.2.6.	Base de la màquina	51

9.2.7.	Altres elements	53
9.3.	Càlculs del disseny mecànic	54
9.3.1.	Càlcul de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament	54
9.3.2.	Càlcul de tensions de la biga d'unió del xassís B amb el sistema d'emmagatzematge	56
9.3.3.	Càlcul de la velocitat angular de les politges	59
10.	Disseny detallat – Entorn de control	63
10.1.	Introducció a l'entorn de control	63
10.2.	Tractament de la pista	64
10.3.	Simulació del llançament.....	66
10.3.1.	Model dinàmic.....	67
10.3.2.	Implementació del model i simulació	73
10.4.	Disseny del sistema de gestió de dades	81
10.4.1.	Programa del nucli de control.....	82
10.4.2.	Disseny de l' <i>app</i>	89
11.	Planificació	97
12.	Pressupost.....	98
13.	Impacte ambiental	99
14.	Conclusions	100
14.1.	Conclusions industrials	100
14.2.	Conclusions personals	101
15.	Estudis futurs	102
16.	Agraïments.....	104
17.	Referències	105
17.1.	Referències bibliogràfiques	105
17.2.	Bibliografia complementària	108
Annex A.	Característiques de les llançadores de pilotes de tennis en el mercat	2
Annex B.	Patents de màquines llançadores de pilotes de tennis.....	4
Annex C.	Fitxes tècniques	25
Annex D.	Dades dels mallats	30
Annex E.	Codi en <i>Matlab</i> de la simulació del llançament	33
Annex F.	Codi en <i>Matlab</i> de la obtenció de dades de forma massiva	36
Annex G.	Codi de l' <i>app</i> programada en <i>MIT App Inventor</i>	42
Annex H.	Codi del programa del nucli de control en <i>Python</i>	53

3. Glossari

Angle α : angle contingut en el pla vertical que orienta la direcció del llançament en alçada.

Angle β : angle contingut en el pla horitzontal que orienta la direcció de llançament en l'amplada de la pista.

Carrusel: sistema giratori que fa la captació de la pilota que serà llançada, es situa entre la cistella i el tub flexible que va a parar al punt entre politges.

Circlip: és una anella de seguretat que permet subjectar peces impedit el moviment lateral tal que només hi hagi rotació. En aquest treball només es treballa amb el tipus extern que s'utilitza en ranures d'eixos.

Cistella: és un recipient, habitualment de plàstic, que s'ubica a major alçada del punt de llançament, on s'emmagatzemen les pilotes de tennis.

Efecte – Cop pla: correspon a un llançament sense *spin* i, per tant, en realitat no té cap efecte. En el treball s'anomena a aquest llançament com “sense efecte”.

Efecte – Lateral: correspon a un llançament on l'*spin* fa que la trajectòria es desvii progressivament cap al costat cap al qual se li dona l'efecte.

Efecte – Liftat: correspon a un llançament on l'*spin* fa que la trajectòria sigui més bombejada i fa que amb el rebot guanyi més alçada.

Efecte – Tallat: correspon a un llançament on l'*spin* fa que la trajectòria sigui més plana i fa que amb el rebot perdi alçada.

Elevació: correspon al moviment de la màquina en el que el punt de llançament s'eleva en alçada per tal de realitzar llançaments del tipus servei o del tipus tir de camp.

Línia de base: és la línia paral·lela a la xarxa més allunyada d'aquesta, indica l'extrem de la pista i on es considera “fora” durant el joc.

Llançament – Servei: el servei es realitza al començament d'un joc en un partit de tennis. El jugador s'ubica fora de la pista al costat de la línia de base, el procediment correspon a llançar primer la pilota amb la mà en alt i realitzar el cop amb la raqueta des del punt més alt que pot el jugador. El llançament ha de botar dins dels quadrats de servei, al del costat oposat des del que el jugador que realitza el servei es col·loca. En el partit, el jugador té dues oportunitats per realitzar el servei tal que el primer servei sol ser més ràpid i el segon més lent, per tal d'assegurar no perdre el punt del servei.

Llançament – Tir de camp: el tir de camp correspon als llançaments habituals durant el joc. Per normes del joc, aquest llançament ha de botar a la regió que va des de la línia de base fins la xarxa, sense incloure la zona del carreró (en castellà *pasillo*) per a partits individuals i incloent-la per a partits de dobles.

Mallat: divisió realitzada de la pista per tal de codificar diferents posicions.

Nivells de dificultat / Nomenclatura genèrica: són els noms donats als llançaments segons el seu tipus i en quin rang es troba la velocitat de sortida.

Oscil·lacions: correspon al moviment que pot realitzar la màquina en un cert pla. Es distingiran dues, la horitzontal que fa el moviment rotatori de la direcció de llançament en el pla de la pista i la vertical que el fa en elevació.

Politges: rodes utilitzades per donar impuls a la pilota de tennis.

Programa del nucli de control: correspon al programa que s'executaria a la *Raspberry Pi* i centralitza tot el control de la màquina.

Script: nomenclatura emprada pel programari *Matlab* per anomenar els arxius que contenen el codi de programació en aquest entorn.

Sistema de gestió de dades: és el nom donat al conjunt de l'*app*, la base de dades i el programa del nucli de control.

Spin – Efecte: és la velocitat de rotació que té la pilota. Com un llançament amb efecte ha de tenir *spin*, els termes *spin* i efecte es combinaran.

Volandera *grower*: és un tipus de volandera utilitzat per evitar que s'afluixin els cargols. Consisteix en un anell de secció quadrada, no tancat i en forma d'espiral (en aquest treball només s'arriba a una volta), on el salt entre inici i final de la volandera coincideix amb el gruix d'aquesta.

4. Objectius i abast

4.1. Objectius

El treball realitzat correspon al disseny preliminar d'un prototip de màquina llançadora de pilotes de tennis del segment professional (6.1.3 Segmentació). L'objectiu principal correspon a obtenir un producte innovador en el mercat que combini característiques que li aportin un avantatge competitiu.

Respecte el treball, s'intenta assolir la realització del disseny preliminar en el temps establert per l'Escola. Així i tot, el principal criteri que s'aplica és el de un producte de qualitat que satisfaci al client.

El disseny preliminar realitzat s'ha dividit en dues branques principals:

- Disseny mecànic: es realitza un disseny en CAD (*SolidWorks*) de la màquina completa.
- Entorn de control: s'obtenen les dades dels llançaments que la màquina pot fer mitjançant la simulació d'aquests. A més, es crea el sistema per tal de que la configuració del jugador en una *app* permeti obtenir els paràmetres de la màquina necessaris.

4.2. Abast

Durant la realització del treball, l'abast ha anat definint-se de manera més clara. Aquest es planteja com una part del projecte d'enginyeria que comportaria la fabricació del prototip, així s'arriba fins l'etapa d'avantprojecte, amb un disseny preliminar avançat però no complet.

En el treball realitzat s'inclou:

- Disseny mecànic del conjunt de llançament (format per tres xassissos) i del sistema d'elevació.
- Disseny en CAD del conjunt de llançament, del sistema d'elevació, de la base de la màquina i del sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes.

- Estudi dinàmic del llançament de la pilota, on s'entenen les equacions del llançament i el comportament de la pilota en l'aire.
- Implementació del model dinàmic d'on s'obtenen les dades dels llançaments possibles a partir d'uns paràmetres d'entrada.
- Creació d'un programa que centralitza la gestió de dades entre la configuració dels llançaments i la obtenció dels paràmetres per a realitzar-los.
- Creació d'una interfase (*app*) que permet al jugador seleccionar la posició on la pilota ha de botar, amb la velocitat i l'efecte desitjats.

En el treball no s'han assolit els següents punts:

- Disseny mecànic de la base de la màquina, sistema de plegament i el sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes.
- Realització d'estudis d'esforços mecànics.
- Procés de selecció de materials exhaustiu mitjançant una comparació entre alternatives en funció de les sol·licitacions i de la facilitat en la fabricació dels elements.
- Avaluació empírica de les hipòtesis de l'estudi dinàmic.
- Implementació del sistema de gestió de dades sobre una *Raspberry Pi*, tal que el programa principal només s'ha executat en un ordinador i no en la plataforma mencionada.
- Disseny i implementació de components d'electrònica de potència, que comporta la no realització del disseny dels elements de control.
- Disseny i implementació d'un panell de control a la màquina.
- Disseny i dimensionament de l'alimentació elèctrica i del cablejat de la màquina.

5. Justificació

5.1. Justificació industrial

La oferta en el mercat sobre màquines llançadores de pilotes de tennis és poc innovadora. Tal i com es veurà a l'apartat 6.1.3 Segmentació, la oferta es pot classificar en tres segments (aficionat, intermedi i professional), sense tenir cap producte que destaquí sobre la resta. Aquest fet ofereix la oportunitat de poder presentar un disseny innovador, complint amb les característiques ja presents al mercat i afegint nous trets propis per tal d'obtenir un avantatge competitiu.

A l'apartat 8.2 Descripció del disseny es veurà que el disseny realitzat en aquest treball s'idea per tal d'obtenir les millors característiques del mercat, tal com són:

- Sis graus de llibertat: tres velocitats de rotació, dos angles i l'alçada de llançament.
- Simulació de llançaments de tipus servei.
- Sistema de control de cara a l'usuari que aprofita les noves tecnologies i utilitza una *app* per a *smartphone*, on el jugador podrà configurar llançaments.
- Divisió de la pista en regions per tal d'escollir on es vol que boti la pilota.

Al començament d'aquest treball, la simulació dels llançaments del tipus servei només es troba disponible a dues màquines del mercat. Respecte la interfase amb l'usuari, cap màquina presentava un sistema d'aquest estil tal que els fabricants destacaven el fet de tenir un comandament a distància; durant la realització del treball va sortir al mercat una màquina amb un sistema de control molt similar al ideat en aquest treball, amb una aparença simple però amb un gran potencial.

Tot i això, la combinació d'una màquina llançadora amb la opció de realitzar un llançament de tipus servei o tipus tir de camp amb una interfase mitjançant una *app* no existeix en el moment de realització del treball.

La màquina està destinada a ser utilitzada en instal·lacions esportives com clubs de tennis o particulars que es dediquen al tennis professionalment.

5.2. Motivació personal

Ambdós autors han tingut bona experiència durant els estudis quan han treballat conjuntament. A més, el tema del treball s'ha vist com una oportunitat de complementar diferents àmbits en un mateix projecte i de potenciar les capacitats de treball en equip.

Jordi Bravo: el tema escollit permetia aplicar els coneixements adquirits en diferents assignatures del Grau, a més era tot un repte plantejar l'inici d'un projecte de disseny d'un producte. La combinació de l'entorn *Matlab*, *Python* i de l'*app* resulta enriquidor.

Sergi Vidal: es va plantejar el treball de fi de Grau de tal manera que permetés combinar una afició amb els estudis. El tema comportava poder aprendre a plantejar el disseny d'un producte des del punt de vista mecànic. Això implicava una introducció al dimensionament de peces i al disseny mecànic, coneixements que s'ampliaran en el Màster.

6. Antecedents

6.1.1. Descripció

Una màquina llançadora de pilotes de tennis (en anglès *Ball Machine*) és un aparell capaç de realitzar un llançament similar al d'un jugador de tennis. L'objectiu de la màquina és el de permetre a un jugador entrenar tot i estar sol o bé per a entrenar amb un tipus de llançament en concret.

6.1.2. Funcionament bàsic

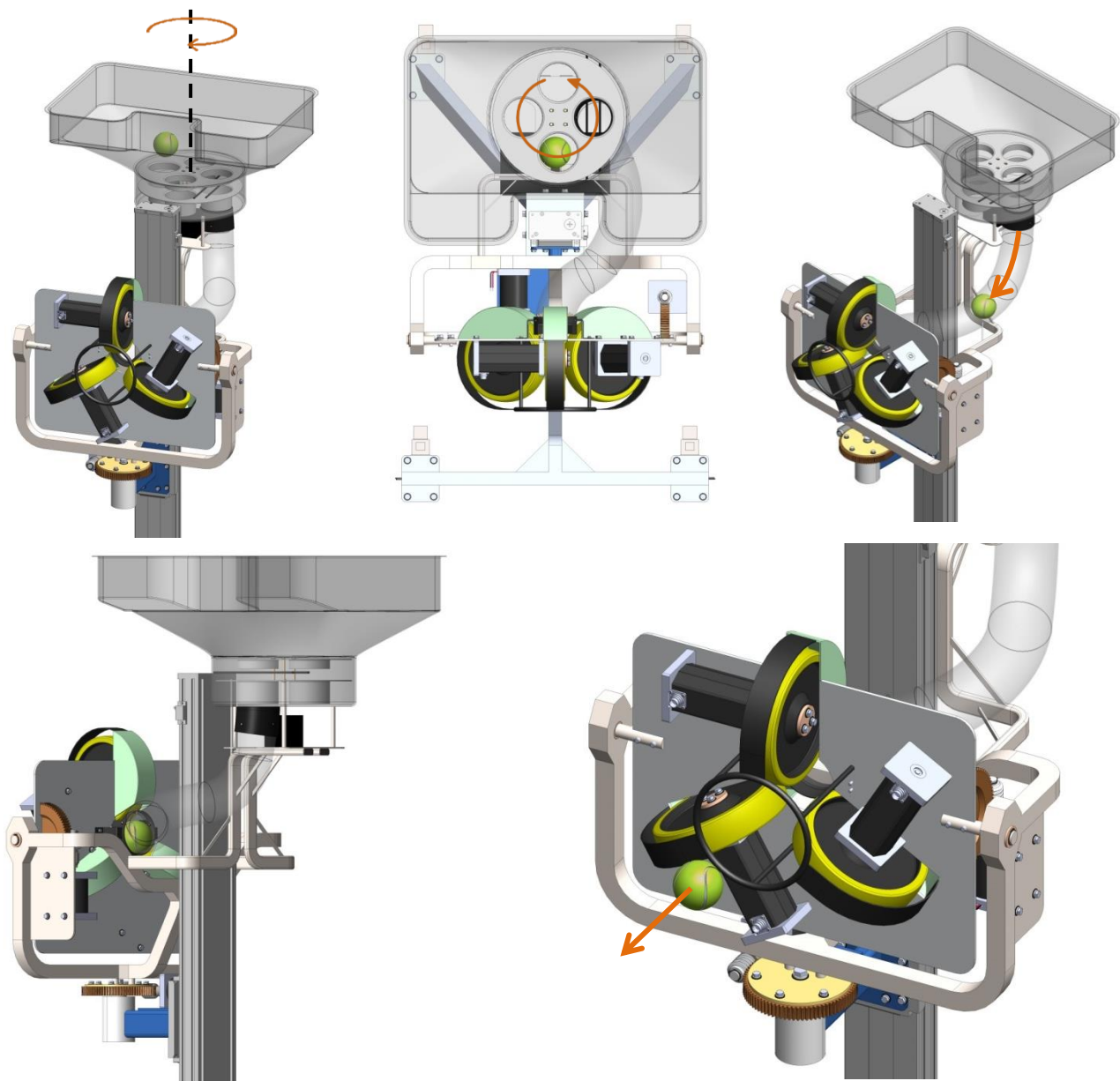


Figura 6.1 Vistes esquemàtiques del funcionament bàsic d'un llançament a la màquina.

El funcionament d'una màquina genèrica llançadora de pilotes de tennis (Figura 6.1) comença amb l'emmagatzematge de les pilotes, per al que té una cistella. De la cistella, mitjançant un sistema de captació, es deixa passar una pilota amb una certa freqüència per a realitzar el seu llançament. Aquest sistema de captació s'anomena carrusel degut a que correspon habitualment a un element giratori amb una plantilla amb un forat per on hi pot passar una de les pilotes.

La pilota un cop ha passat pel carrusel, entra a un tub flexible que desemboca al punt entre politges on se li donarà l'impuls. La pilota a l'entrar al punt de llançament pateix una certa deformació degut a que l'espai disponible és menor al que ocupa la pilota. D'aquesta manera, la pilota rep una quantitat de moviment necessària per tal de ser llançada a una certa velocitat.

6.1.3. Segmentació

A l'hora d'analitzar l'estat de l'art, s'ha realitzat una segmentació sobre la oferta actual d'aquestes màquines. D'aquesta manera, els criteris escollits han estat:

- Velocitat màxima assolible al llançament
- Preu de la màquina
- Nivell de dificultat dels llançaments disponibles
- Oscil·lacions permeses per la màquina
- Capacitat de pilotes de tennis
- Disponibilitat d'efectes

Amb aquests criteris, s'han determinat els segments indicats a la Taula 6.1:

	Velocitat màxima (km/h)	Preu (€)	Nivell de dificultat	Oscil·lacions permeses	Capacitat	Efectes permesos
Aficionat	≤ 100	≤ 1200	Iniciació	1	≤ 50	0 ó 1
Intermedi	(100; 150]	(1200; 3500]	Tots	2	(50; 200]	2
Professional	> 150	> 3500	Avançat	2	> 200	≥ 2

Taula 6.1 Segments considerats per la oferta actual del mercat de màquines llançadores de pilotes de tennis.

A partir de la guia de màquines llançadores de pilotes de tennis de l'any 2015 (Tennis Industry Magazine, 2015), es realitza la segmentació indicada a la Taula 6.2.

Model de la màquina	Segment
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Battery</i>	Intermedi
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Super Battery</i>	Intermedi
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Electric</i>	Intermedi
<i>Spinshot Lite</i>	Aficionat
<i>Spinshot Pro</i>	Intermedi
<i>Tutor Prolite Bateria</i>	Aficionat
<i>Twist Battery</i>	Aficionat
<i>Twist Electric</i>	Aficionat
<i>Lobster Elite 1</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite 2</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite 3</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite IV Grand slam</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite V Grand slam</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite V EDL Grand slam</i>	Intermedi
<i>Lobster Liberty</i>	Aficionat / Intermedi
<i>Lobster Elite Freedom</i>	Aficionat
<i>Lobster Elite Phenom</i>	Intermedi
<i>Lobster Elite Phenom 2</i>	Intermedi
<i>Ace Attack</i>	Professional
<i>The Grand Slam</i>	Professional

Taula 6.2 Segmentació de les màquines llançadores del mercat.

Les característiques de cada màquina segmentada es troben a l'Annex A.

Característiques de les llançadores de pilotes de tennis en el mercat.



Figura 6.2 Fotografies de les màquines Tutor Prolite Bateria (Tennis Warehouse, 2017) del segment aficionat, Spinfire Tennis Pro 2 Battery (SpinfireSport.com, 2017) del segment intermedi i The Grand Slam (Metaltek, 2016) del segment professional, respectivament.

6.1.4. Disseny d'inspiració

Per a la realització d'aquest treball es va decidir realitzar el disseny d'una màquina llançadora de pilotes de tennis que es classificarà al segment professional *premium* (de característiques millors a les ja establertes en el segment professional). Considerant la

informació disponible i el disseny interessant, s'utilitza la màquina *Ace Attack* de l'empresa *Oncourt Offcourt* (Figura 6.3) com disseny amb el que es competirà i s'utilitzarà d'inspiració.



Figura 6.3 Fotografies de la màquina *Ace Attack* en les seves dues configuracions d'alçada: baixa i alta. (Sports Attack, LLC, 2017)

L'*Ace Attack* (Oncourt Offcourt, Ltd., 2017) destaca per la possibilitat de realitzar llançaments com a tir de camp o com a servei, per aconseguir-ho la màquina és capaç de situar el capçal de llançament a dues alçades diferents.

Concepte	Valor	
Tipus de llançaments	Serveis o tirs de camp	
Punts de llançament – Alçada	42" (1,07 m) a 100" (2,54 m)	
Rang de velocitats	20 mph (32 km/h) a 110 mph (177 km/h)	
Oscil·lacions permeses	2	
Moviments automatitzats	Oscil·lació horitzontal i alçada	
Massa	150 lbs (68 kg)	
Dimensions	Alçada	Posició baixa: 67" (1,70 m) Posició alta: 127" (3,23 m)
	Amplada	53" (1,35 m)
	Profunditat	35" (0,89 m)
Nombre de politges	3 a 120° entre elles	
Capacitat	200 pilotes	
Efectes	Liftat i tallat, amb possible combinació de lateral	
Freqüència (Temps entre llançaments)	1 – 10 s	
Preu	8.470 €	

Taula 6.3 Característiques de l'*Ace Attack*.

Amb la possibilitat de realitzar un servei, a part de l'alçada necessària, es necessiten assolir velocitats més elevades. L'*Ace Attack* té una velocitat màxima per a servei de 177 km/h (110 mph), aquest fet necessitarà de motors de gran potència per a les politges. Una altra característica de l'*Ace Attack* és el fet de tenir tres politges, fet innovador respecte la resta d'ofertes al mercat, aquesta disposició de politges permet un ampli ventall d'efectes. Tal i com es veu a la Taula 6.3, té dues oscil·lacions permeses corresponents a la d'elevació (no motoritzada) i a la d'orientació (motoritzada).

Durant la realització del treball va sortir al mercat la màquina *Match Mate Tennis* (Match Mate Tennis, 2017), que presentava com a gran novetat el sistema *Precision Tennis System*: un entorn programable per a la màquina per tal de "executar qualsevol llançament a qualsevol instant". Aquest sistema parteix de la mateixa idea en la que ja s'estava treballant en aquest treball: la màquina va sortir al mercat la setmana del 13 de març de 2017, quan la idea en aquest projecte s'havia començat a treballar una setmana abans.



Figura 6.4 Fotografies de la màquina *Match Mate Tennis* (Match Mate Tennis, 2017) i del seu sistema *Precision Tennis System*.

Tot i la similitud de la idea sobre el sistema de control, front la manca d'informació sobre el *Precision Tennis System*, l'entorn de control per a la màquina dissenyada s'ha desenvolupat sense basar-se en el sistema mencionat.

6.1.5. Patents

Paral·lelament a l'estudi de mercat, es va fer una breu cerca sobre les patents disponibles a la xarxa un cop s'han fet de domini públic. L'anàlisi d'aquestes patents no s'ha realitzat en profunditat degut a que les patents més recents trobades daten del

1975, d'aquesta manera els principals mecanismes presentats a les patents són desfasats o simplement manuals, fet que en el disseny de la màquina d'aquest treball no es desitja.

Les dues patents que es destaquen són la corresponent a "*Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls*" (Holloway, et al., 1972) i la "*Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System*" (Clark, et al., 1975). Ambdues es poden consultar a l'[Annex B](#).

- La primera patent s'assimila a les màquines classificades al segment intermedi, però consta de mecanismes manuals que esmenta que "es poden automatitzar". Per tant, d'aquesta patent s'ha extret idees d'alternatives per a com plantejar certs mecanismes.
- La segona patent destaca per ser una màquina de gran alçada i per també tenir la funció de recollir les pilotes de tennis del terra de la pista. El principal problema vist en aquesta patent es que plantejava solucions poc pràctiques tal com desnivellar mitja pista per tal de reunir les pilotes al terra i recollir-les. Es va descartar prendre cap idea d'aquesta patent.

7. Especificació

Segons els criteris que s'han escollit per segmentar els diferents tipus de màquines llançadores de pilotes de tennis (apartat 6.1.3 Segmentació), el disseny s'orientarà per aconseguir la màquina sigui del segment professional *premium* (de característiques millors a les ja establertes en el segment professional). Concretament, es vol tenir les següents especificacions:

- Respecte a la velocitat màxima, la intenció inicial és que aquesta estigui entre 160 i 180 *km/h*, ja que es pretén que la màquina permeti simular serveis a alta velocitat per a aquells jugadors que tinguin un nivell de tennis més elevat. Per altra banda, cal comentar que els llançaments de camp habituals ronden els 130 o 140 *km/h* en el cas de jugadors amb un nivell més alt.
- En quant a la capacitat de la màquina, la idea és aconseguir que aquesta sigui capaç d'emmagatzemar entre 200 i 250 pilotes, fet que permetria tandes d'entrenament per a diversos jugadors alhora sense que aquests hagin de recollir pilotes massa sovint.
- Pel que fa a les oscil·lacions, el propòsit és que la llançadora sigui capaç de realitzar dues oscil·lacions en diverses amplituds, ja que permetria molta més versatilitat en quant al joc.
- El preu encara no és especificable, però veient els preus de venda de les llançadores del segment d'aquest disseny, es pot suposar que oscil·larà al voltant dels 7.500 – 8.000 €.
- Com es vol que la llançadora tingui un perfil de jugadors més ampli, seria convenient que el disseny s'orientés cap a jugadors de tots els nivells (iniciació, mig, avançat i professional).
- En relació al nombre d'efectes disponibles, es pretén que la màquina permeti executar un mínim de tres efectes diferents: el liftat, el tallat i el lateral. A part d'aquests tres efectes, també s'hi inclourà l'efecte derivat del cop pla, que consisteix en un cop de pilota sense efecte, ja que permetria un millor entrenament per als jugadors novells.

- Respecte l'alimentació elèctrica de la màquina es vol que la màquina es pugui endollar directament a la xarxa elèctrica (230 V, 50 Hz).
- Altres aspectes a tenir en compte són el nivell de soroll continu es mantingui per sota de 50 dB i que hi hagi un sistema de seguretat que consisteixi en un sensor de moviment que detecti una persona a prop del punt de llançament.

Per altra banda, el control de la màquina es podrà dur a terme des d'un panell de control situat a la mateixa llançadora i des d'una aplicació per *smartphone*:

- El panell de control permetrà l'activació de les comandes bàsiques de la màquina: encès i apagat i jugades pre-programades.
- Des de l'aplicació del telèfon mòbil es podrà realitzar la programació de tandes d'entrenament personalitzades. El jugador podrà seleccionar diversos llançaments en funció del tipus de llançament, la part de la pista, l'efecte i el rang de velocitats.

La Taula 7.1 correspon a la taula de funcions del projecte on es resumeixen els punts acabats de mencionar.

Subfunció	Variable	Unitat	Nivell	Rang	Component físic
Impulsar la pilota per simular un servei	Velocitat màxima de sortida	$\frac{km}{h}$	180	[160; 180]	Politges
Emmagatzemar pilotes	Capacitat d'emmagatzemar pilotes	n° pilotes	225	± 25	Cistella
Realitzar llançaments en diferents direccions	Quantitat d'oscil·lacions automatitzades	n° oscil·lacions	2	Cap	Motors dels angles
Competir al mercat amb un preu similar	Cost de la màquina al mercat	$\frac{€}{màquina}$	7.750	250	Màquina
Adaptar-se al nivell del jugador	Nivells de dificultat disponibles	n° nivells	4	[2; 4]	Politges i motors dels angles
Simular llançaments amb efectes	Tipus d'efectes disponibles	n° d'efectes	4	Cap	Politges
Proporcionar energia elèctrica	Tensió elèctrica	V	230	Cap	Endoll
Limitar el soroll	Intensitat sonora	dB	50	(0; 50]	Màquina
Assegurar la zona de llançament	Distància de seguretat	m	5	Cap	Sensor de moviment
Habilitar el control en diferents plataformes	Quantitat de plataformes per realitzar el control	n° plataformes	2	Cap	Interfase amb l'usuari

Taula 7.1 Taula de funcions.

Com el disseny de la màquina d'aquest treball s'inspira en el de l'*Ace Attack*, a la Taula 7.2 es resumeixen les característiques en comú i on es vol millorar el disseny.

	<i>Ace Attack</i>	Màquina dissenyada
Velocitat màxima assolible	177 km/h	180 km/h
Capacitat	200 pilotes	225 pilotes
Oscil·lacions	2, una no motoritzada	2, ambdues motoritzades
Canvi d'alçada	Sí, automàtic	Sí, automàtic
Preu	8.470 €	7.750 €
Efectes	Liftat i tallat, amb combinació de lateral	Liftat, tallat i lateral
Control	Panell de control	Panell de control i <i>app</i>

Taula 7.2 Comparativa d'especificacions entre la màquina dissenyada i l'*Ace Attack*.

Els punts clau en què el disseny de la màquina milloren el de l'*Ace Attack* són:

- Major velocitat màxima assolible.
- Major capacitat d'emmagatzematge de pilotes de tennis.
- Automatització de l'oscil·lació vertical.
- Preu més competitiu.
- Control de la màquina mitjançant una *app*, aportant major versatilitat a l'hora de programar-la.

8. Disseny conceptual

8.1. Descomposició funcional

8.1.1. Branca del disseny mecànic

Partint del funcionament bàsic d'una màquina llançadora de pilotes de tennis ([6.1.2 Funcionament bàsic](#)) i del disseny d'inspiració de la màquina *Ace Attack* ([6.1.4 Disseny d'inspiració](#)), a la Figura 8.1 es mostren els elements de la màquina com es reparteixen segons la funció que realitzen.

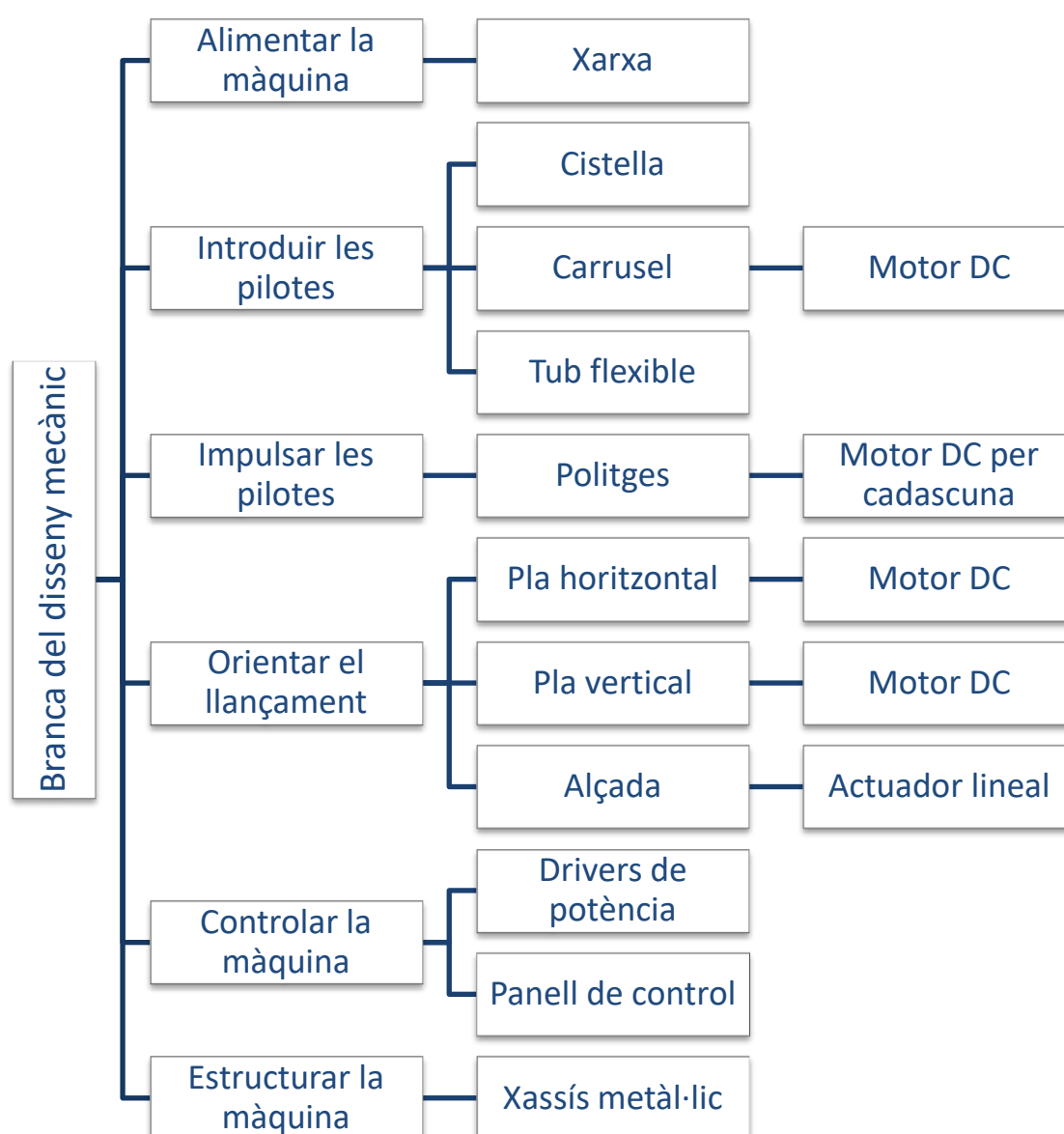


Figura 8.1 Esquema de la descomposició funcional de la branca del disseny mecànic.

8.1.2. Branca de l'entorn de control de la màquina

Respecte la vessant del control de la màquina es distingeixen les funcions indicades a la Figura 8.2, d'acord amb el disseny ideat i que s'explica a l'apartat 8.2 Descripció del disseny.

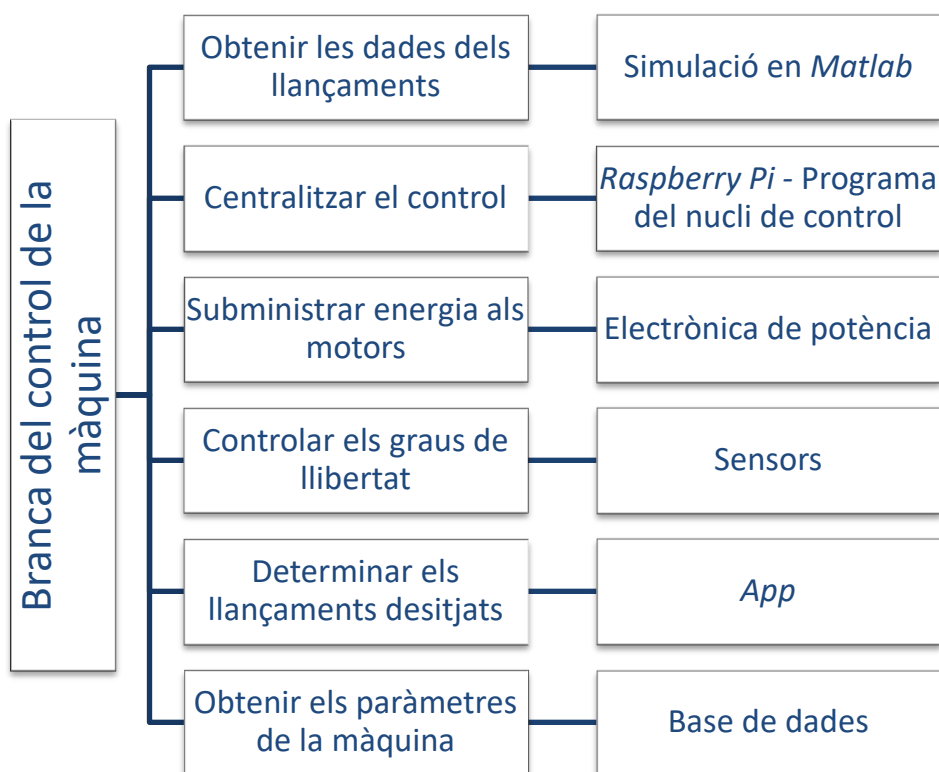


Figura 8.2 Esquema de la descomposició funcional de la branca del control de la màquina.

8.2. Descripció del disseny

La màquina dissenyada serà capaç de realitzar llançaments de dos tipus: serveis (on s'assoliran les velocitats màximes) i tirs de camp (a menor velocitat però amb major varietat de llançaments). Per tal d'aconseguir-ho, la part de la màquina on es situa el punt de llançament serà mòbil en alçada. Les diferents velocitats i efectes s'aconseguiran amb un conjunt de tres politges col·locades entre sí a 120°. A més, s'automatitzaran les oscil·lacions que permetran llançaments per tota la pista.

La màquina en repòs tindrà el punt de llançament a la menor alçada, tal que permeti la seva manipulació tal com la càrrega de les pilotes a la cistella. Tots els moviments seran

automatitzats, de tal manera que un cop seleccionat el llançament desitjat no faci falta actuar sobre la màquina manualment.

La màquina tindrà un panell de control i es podrà controlar remotament mitjançant una *app* al mòbil. El panell estarà limitat a l'activació de les comandes bàsiques de la màquina i a uns programes d'entrenament preinstal·lats. En canvi, la *app* permetrà, a part de programes preinstal·lats, realitzar la programació de tandes personalitzades.

A la *app* apareix la vista en planta d'una pista de tennis, el jugador podrà realitzar una selecció de llançaments escollint el tipus del llançament, la dificultat desitjada, la part de la pista on es vol que boti la pilota i l'efecte que ha de tenir el llançament. Un cop seleccionats els llançaments, la màquina rebrà la tanda i els realitzaria en un ordre aleatori.

8.3. Decisions transversals del disseny

A continuació es descriuen alguns dels punts clau en el disseny de la màquina que s'han decidit i són de consens.

Tipus de llançaments disponibles a la màquina

S'estableixen com a tipus de llançaments els serveis i els tirs de camp, durant el disseny s'ha descartat considerar els globus degut principalment a que comportaria ampliar els rangs de gir de la màquina per tal de simular uns llançaments no tan comuns.

A la Taula 8.1 s'indica la nomenclatura donada pels nivells de dificultat establerts per a la màquina, basats en la velocitat de sortida de la pilota.

- Pels llançaments de tipus servei s'hi estableixen tres nivells, dos corresponents a un jugador professional quan realitza el primer servei a alta velocitat i el segon servei, quan no ha fet correctament el primer, a menys velocitat.
- Respecte els llançaments de tipus tir de camp s'ha decidit establir un gran ventall de nivells per tal de que la màquina s'hi pugui adaptar bé a les necessitats del jugador.

Llançaments – Serveis	
Nivell professional – Primer servei	160 – 180 <i>km/h</i>
Nivell professional – Segon servei	120 – 159 <i>km/h</i>
Nivell amateur	80 – 119 <i>km/h</i>
Llançaments – Tirs de camp	
Llançament fort	140 – 160 <i>km/h</i>
Llançament normal	100 – 139 <i>km/h</i>
Llançament fluix	60 – 99 <i>km/h</i>
Llançament junior	40 – 59 <i>km/h</i>

Taula 8.1 Nomenclatura dels nivells de dificultat establerts pels llançaments.

Efectes disponibles a la màquina

Els efectes que la màquina podrà realitzar són el liftat, el tallat i el lateral. Aquest últim tindrà dues versions, anomenades lateral positiu i lateral negatiu segons el sentit de la seva velocitat de rotació. També es contempla l'anomenat efecte pla que correspon a la configuració anomenada sense efecte, en aquest cas té una velocitat de rotació petita però no diferent de zero.

	Cop pla – Sense efecte	Liftat	Tallat	Lateral positiu	Lateral negatiu
Nivell 1	—	1000 <i>rpm</i>			
Nivell 2	—	2000 <i>rpm</i>			

Taula 8.2 Tipus i nivells d'intensitat dels efectes pels llançaments.

Respecte la intensitat de l'efecte, s'estableixen dos nivells: nivell 1 i nivell 2, que corresponen a la velocitat de rotació, en valor absolut, 1000 *rpm* i 2000 *rpm*. Per tal de dimensionar els motors de les politges (apartat 9.3.3 Càlcul de la velocitat angular de les politges) s'ha establert 2000 *rpm* com a màxim.

Alimentació elèctrica

La part del disseny sobre l'alimentació elèctrica de la màquina s'ha decidit que sigui directament una connexió monofàsica mitjançant un endoll *Schuko*. No s'ha dissenyat amb detallat degut a que com no es realitza el disseny detallat de la part elèctrica i electrònica, no es pot avaluar el consum elèctric real de la màquina.

S'ha descartat la opció que algunes màquines del mercat tenen de certa autonomia mitjançant bateries (Taula A.1) ja que aquestes són dels segments inferiors (aficionat i intermedi – Taula 6.1) i la màquina dissenyada tindrà motors de gran potència.

Limitació de la quantitat de dades sobre llançaments

En els càlculs obtinguts de la simulació dels llançaments que la màquina és capaç de fer (apartat 10.3.2 Implementació del model i simulació), s'han aplicat algunes limitacions de possibilitat d'incrementar els valors de velocitat i angle.

Aquestes limitacions en aquesta fase del projecte es justifiquen per la quantitat de dades que es generarien al no aplicar-les; però en fases posteriors, un cop s'hagi dissenyat l'electrònica de potència i amb ella el control precís dels motors, aquestes limitacions es podran modificar fins el grau de precisió amb els que es puguin establir les velocitats i angles.

Profunditat del disseny de l'app i del programa del nucli de control

L'app i el programa del nucli de control creats en aquest treball tenen l'objectiu de permetre entendre el funcionament de l'entorn de control per tal de poder començar a desenvolupar un entorn més optimitzat i que es pugui arribar a implementar amb la màquina en el mercat.

En una fase inicial, la inversió que resultaria de crear el sistema de gestió de dades de manera completa seria massa gran. Aquest enfocament permet crear un conjunt que permeti fer les proves pertinents per tal de veure si la direcció del disseny és correcta sense haver fet una gran inversió inicial.

8.4. Estructuració del disseny

Per tal de poder treballar d'una manera més clara en el disseny, s'ha realitzat l'estructuració del disseny segons l'esquema de la Figura 8.3. Recordar l'abast considerat en aquest treball (4 Objectius i abast), l'estructuració només inclou la part del disseny realitzada.

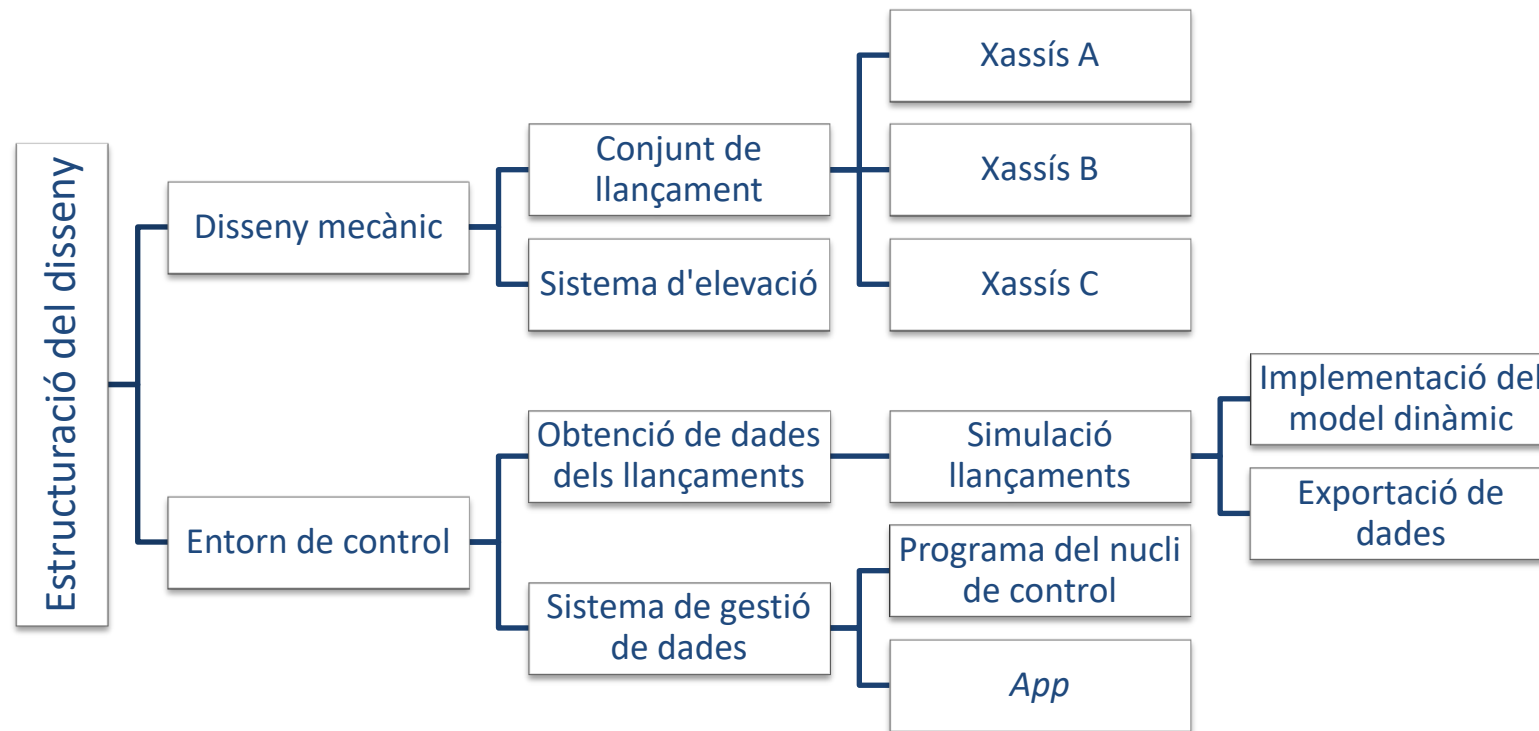


Figura 8.3 Esquema de l'estructuració del disseny.

Aclarir que l'estructura principal dels capítols 9 Disseny detallat – Part mecànica i 10 Disseny detallat – Entorn de control es basen en l'esquema de la Figura 8.3.

9. Disseny detallat - Part mecànica

Aquest apartat conté el nucli del treball realitzat, per tal de que el lector tingui a la seva disposició la documentació creada durant la realització del treball s'ha habilitat una carpeta habilitada a la plataforma *OneDrive* amb el contingut principal d'aquest capítol.

Carpeta compartida: <https://1drv.ms/f/s!Atk4XYDHS94KsmQ0LUBBYYN-fNI5>

9.1. Introducció al disseny mecànic

El disseny mecànic parteix amb els objectius d'assolir les especificacions indicades a l'apartat 7 Especificació i tenir un comportament com l'explicat a l'apartat 8.2 Descripció del disseny. Recordar que de cara a realitzar el disseny de la màquina d'aquest treball, s'ha tingut com a disseny d'inspiració el de l'*Ace Attack* (6.1.4 Disseny d'inspiració).

El disseny s'ha estructurat en diferents parts (com es veu a la Figura 9.2), de les quals l'abast d'aquest treball només inclou les indicades a la Figura 8.3:

- Conjunt de llançament:
 - Xassís A: habilita els graus de llibertat de les velocitats de rotació de les politges i és el xassís que s'inclina per donar l'angle d'inclinació vertical (angle α definit a l'apartat 10.3.1 Model dinàmic).
 - Xassís B: és on estan fixats el motor i el mecanisme que habiliten el grau de llibertat de l'angle d'inclinació vertical (angle α). El conjunt del xassís A més el xassís B més el conjunt d'emmagatzematge i captació de pilotes giren segons l'angle d'inclinació horitzontal (angle β definit a l'apartat 10.3.1 Model dinàmic) donat per la posició del bot desitjada (respecte el mallat que es veu a l'apartat 10 Tractament de la pista).
 - Xassís C: és on estan fixats el motor i el mecanisme que habiliten el grau de llibertat de l'angle d'inclinació horitzontal (angle β). El conjunt de llançament (xassís A, xassís B i xassís C) junt amb el conjunt d'emmagatzematge i captació de pilotes estan units amb la plataforma del sistema d'elevació.
- Actuator lineal: fa la funció del sistema d'elevació i habilita el grau de llibertat de l'alçada del llançament.

De les parts on no s'ha desenvolupat el disseny es comenten idees sobre les que treballar en fases posteriors del projecte.

A la Figura 9.1 s'observa el disseny CAD final d'aquest treball on s'indiquen la ubicació de cada element en el que s'ha estructurat el disseny.

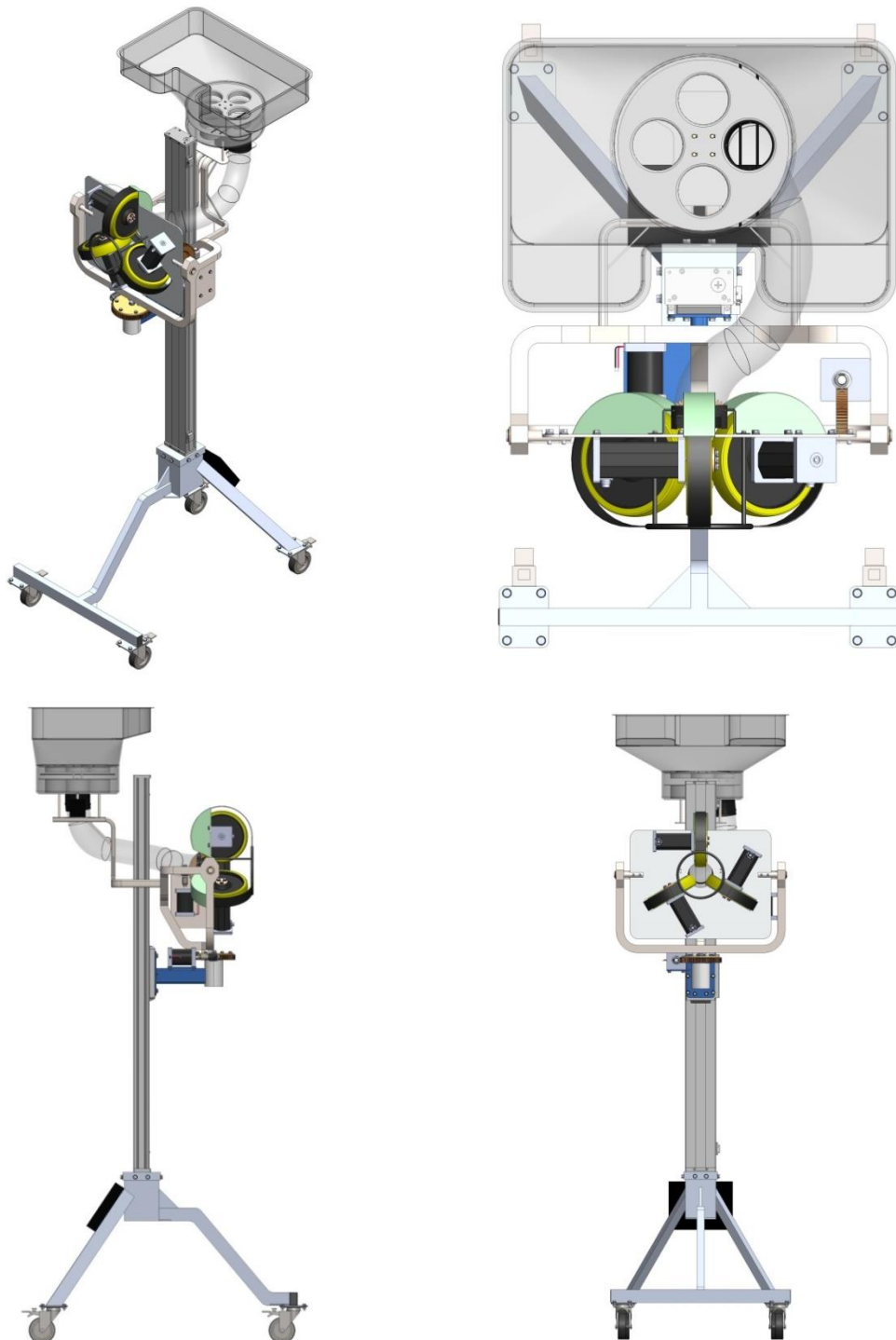


Figura 9.1 Vistes isomètrica, planta, perfil i alçat del disseny CAD de la màquina.

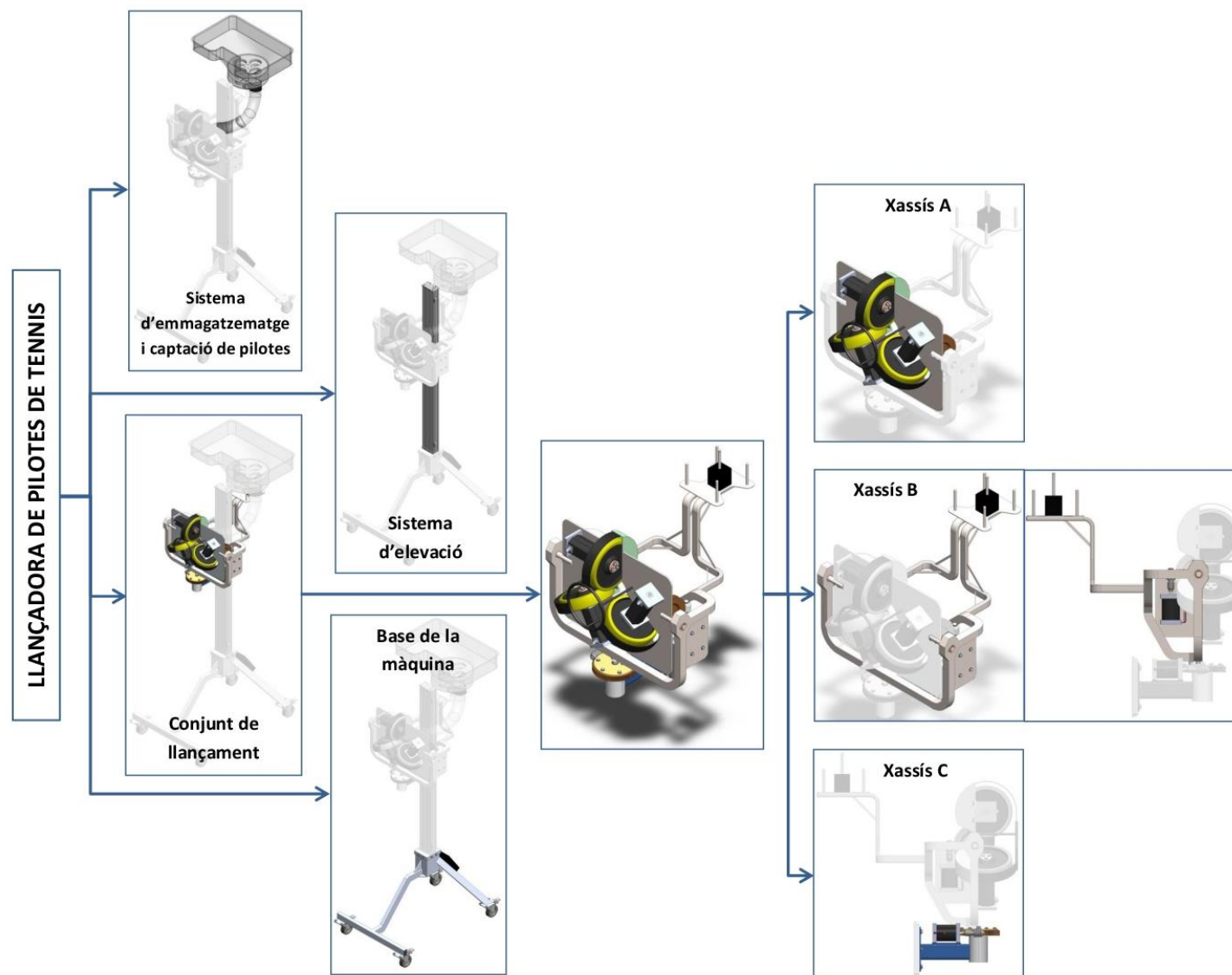


Figura 9.2 Esquema de la descomposició de les diferents parts de la màquina.

9.2. Disseny mecànic

9.2.1. Xassís A

El conjunt sobre el que es situen les politges que impulsen la pilota de tennis és l'anomenat xassís A. Aquest, com es veurà en l'apartat 9.2.2 Xassís B, està unit al xassís B mitjançant dos eixos alineats de diàmetre 20 mm junt amb uns coixinets i uns *circlips*.

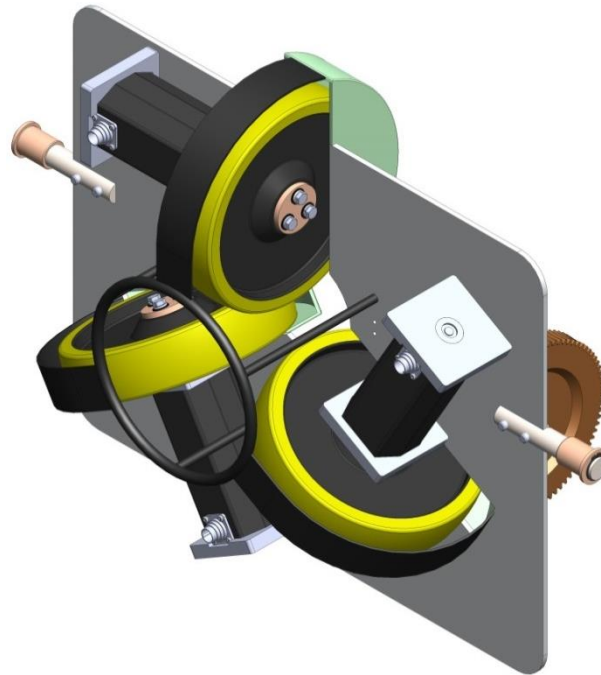


Figura 9.3 Vista isomètrica del xassís A.

A continuació, s'explicarà en detall les parts en que s'ha dividit aquest xassís:

- Xapa base
- Conjunt de motors i politges
- Sistema de protecció de les politges

Xapa base

La xapa base té una amplada de 550 mm, una alçada de 425 mm i un gruix de 5 mm. El material escollit és l'alumini degut a les seves bones propietats mecàniques i a la seva baixa densitat. Aquesta xapa té quatre funcions diferents:

- Serveix d'unió per als eixos provinents del xassís B i per la roda dentada que permet la rotació en l'angle α . Aquests eixos, que estan tallats axialment a partir

d'un cert punt, estan foradats dues vegades cada un per tal que s'hi puguin introduir dos cargols de mètrica $M8 \times 1.0$ amb les seves corresponents volanderes normals i de tipus *grower*. Per altra banda, la roda dentada està soldada a la xapa, com es veurà en l'apartat 9.2.2 Xassís B.

- Serveix per fixar l'extrem del tub d'alimentació de pilotes (9.2.5 *Emmagatzematge i captació de pilotes*) al punt de llançament d'aquestes. En l'apartat mencionat es concretarà més sobre aquesta unió.
- És necessària per fixar els motors que donaran la rotació a les politges (rodes que donen impuls a les pilotes en el moment de llançar-les), ja que l'eix del motor i l'eix de cada una d'aquestes ha de ser comú.
- Serveix de suport per al sistema de protecció de les politges, que s'explicarà més detalladament a posteriori en aquest apartat.

Conjunt de motors i politges

Com es pot veure a la Figura 9.3, aquest conjunt està format per tres politges o rodes d'impuls col·locades a 120° entre elles i tres motors que donen la rotació a aquestes. S'ha escollit que siguin tres politges i no dues perquè d'aquesta manera es permet l'efecte lateral, com en el disseny d'inspiració (6.1.4 Disseny d'inspiració).

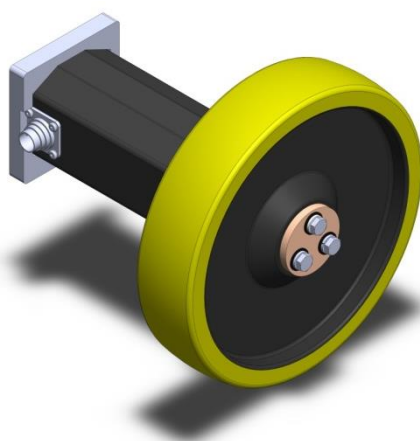


Figura 9.4 Conjunt de motor BG 65x75 (Dunkermotoren GmbH., 2017) i politja.

En primer lloc, s'ha decidit que les politges siguin de diàmetre 200 mm i un orifici central de 14 mm de diàmetre. Aquesta mida es considera una solució de compromís entre la inèrcia a l'eix del motor i la velocitat angular que ha d'adquirir aquest. És a dir,

una inèrcia baixa permetrà uns transitoris entre llançaments més ràpids i, a més, a partir d'un cert diàmetre es podrà donar una velocitat a la pilota sense necessitar una velocitat angular tan alta del motor.

Les politges tenen gruix de 45 mm per tal que hi hagi més superfície de contacte entre la pilota i la politja en el moment de llançament. La superfície exterior és convexa i es considera que ha de ser substituïble per si en estudis posteriors és necessari intercanviar-la.

Pel que fa al motor emprat, es tracta del model *Dunkermotoren BG 65x75* (Dunkermotoren GmbH., 2017).

- S'ha escollit aquesta opció perquè era una de les poques que assolia les velocitats angulars desitjades, segons l'estudi cinemàtic realitzat a l'apartat 9.3.3 Càlcul de la velocitat angular de les politges.

Aclarir que el valor correspon a la velocitat en buit, ja que es considera que les politges al realitzar l'impuls de la pilota no treballen en càrrega.

- A part, per unir el motor s'ha hagut de dissenyar dos suports de secció quadrada amb una cavitat octogonal per tal d'encaixar-lo (Figura 9.5). Cal comentar que el suport de la part davantera del motor se li ha realitzat un orifici circular per tal d'encabir-hi l'eix.
- Aquests suports estan fixats a la xapa base mitjançant quatre cargols de mètrica $M6 \times 1.0$ amb volanderes normals i de tipus *grower*.

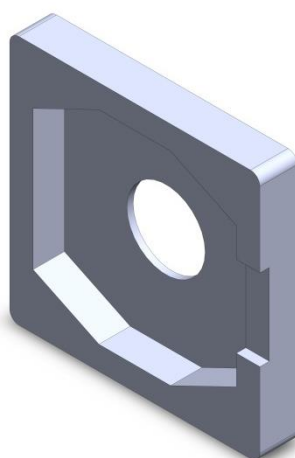


Figura 9.5 Vista isomètrica d'un dels dos suports del motor de l'angle de gir α .

Per tal de fixar les politges a l'eix del motor, s'ha dissenyat un coixinet com el que es pot veure en la Figura 9.6. Aquesta peça s'acoblarà a l'eix del motor (que és de diàmetre 8 mm) per un extrem i es fixarà a cada politja per l'altre extrem amb tres cargols de mètrica $M6 \times 1.0$, amb les corresponents volanderes normals i de tipus *grower*. Per tant, permetrà que l'eix del motor i les politges girin solidàriament.



Figura 9.6 Coixinet dissenyat per unir l'eix del motor BG 65x75 (Dunkermotoren GmbH, 2017) amb la politja.

Sistema de protecció de les politges



Figura 9.7 Vista isomètrica del sistema de protecció de les politges junt amb les politges i els motors corresponents.

Com es veu en la Figura 9.7, les politges estan cobertes amb unes peces de plàstic rígid. Estan dissenyades per tal de protegir les politges de possibles impactes amb les pilotes retornades pels usuaris de la màquina. En aquest cas s'ha optat per unir aquests

elements a la xapa base del xassís A mitjançant una cola d'alta resistència per a metall i plàstic que sigui capaç d'absorbir les vibracions.

Cal comentar que la part davantera d'aquesta protecció és oberta degut a que d'aquesta manera es pot netejar el feltre (en castellà *pelusilla*) residual de les pilotes. Durant la segmentació (6.1.3 Segmentació) es va veure que moltes màquines tenien problemes d'acumulació interna de feltre.



Figura 9.8 Fotografia de la màquina llançadora de pilotes de beisbol *Hack Attack* (Sports Attack, LLC, 2017).

Per últim, s'ha de dir que aquest disseny de la protecció davantera està basat en el model *Hack Attack* (Figura 9.8) (Sports Attack, LLC, 2017), que és una màquina llançadora de pilotes de beisbol.

9.2.2. Xassís B

El xassís B és el conjunt d'elements que té tres funcions principals:

- Fa de suport per al sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes.
- Fa de suport per al xassís A.
- Fa de suport per al motor que introdueix la rotació en el pla vertical (o en l'angle α , definit en l'apartat 10.3.1 Model dinàmic).

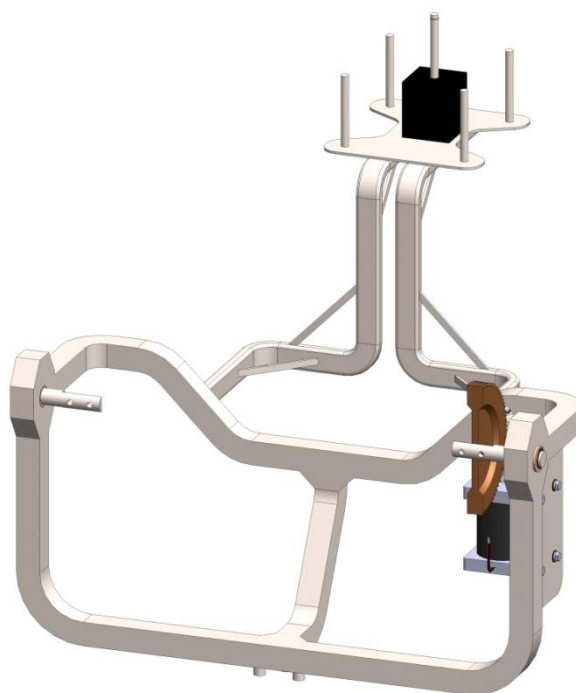


Figura 9.9 Vista dimètrica del xassís B.

Suport per al sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes

Aquest suport s'ha dut a terme a través d'unes bigues de secció tubular rectangular amb tres canvis de directriu (Figura 9.10), ja que és d'imperiosa necessitat esquivar l'actuador lineal tenint en compte la rotació en l'angle β .

S'ha considerat que el material d'aquestes bigues sigui l'alumini, ja que és més lleuger que l'acer i té bones propietats mecàniques. A més, s'ha decidit que en el punt de partida aquestes siguin d'alçada 30 mm i base 15 mm.

Per tal d'assegurar el correcte comportament d'aquests bigues, s'ha realitzat una anàlisi de tensions suposant unes càrregues amb uns valors orientatius a l'alça. Aquest estudi es troba a l'apartat 9.3.2 Càlcul de tensions de la biga d'unió del xassís B amb el sistema d'emmagatzematge. Posteriorment a aquest estudi, s'ha decidit introduir a aquestes bigues uns reforços a les cantonades per tal que les deformacions produïdes tant per flexió com per torsió siguin menors.

Per altra banda, la caixa negra que es veu en la Figura 9.10 és el motor que impulsa el carrusel, situat al sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes.

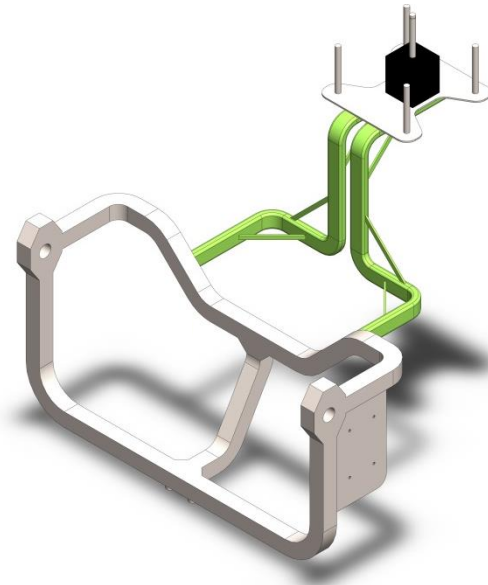


Figura 9.10 Vista isomètrica del xassís B amb la part de suport del sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes destacat.

Suport per al xassís A

S'utilitzen dos eixos d'acer (Figura 9.11) de diàmetre 20 *mm* amb la directriu horitzontal compartida ubicada a la mateixa alçada que el punt de llançament de les pilotes, habilitant el gir en l'angle α . Cal afegir que a un extrem de l'eix se li ha realitzat una ranura per tal d'introduir-hi un *circlip* exterior.

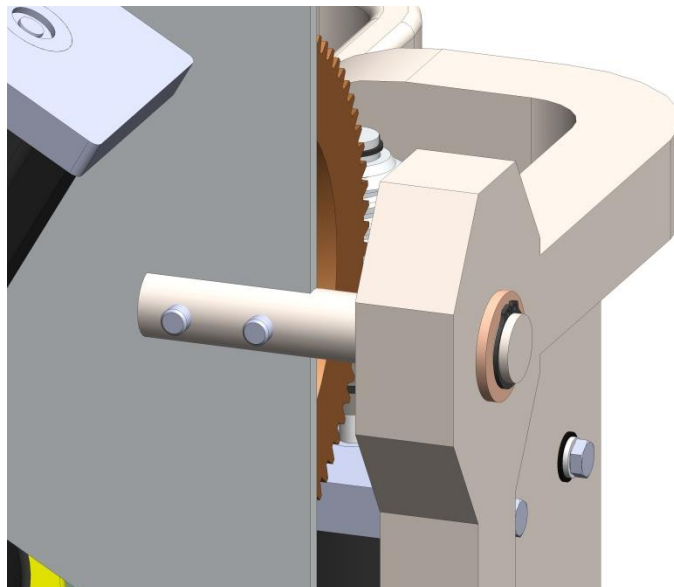


Figura 9.11 Vista en detall d'un dels dos eixos que uneixen el xassís B amb el xassís A.

Com l'eix d'acer presenta un coeficient de fricció massa elevat en contacte amb l'alumini (material del xassís B), s'ha optat per utilitzar un coixinet de bronze, model *IGUS iglidur M250*, situat entre ambdós materials.

Suport per al motor de l'angle α

Aquest motor està unit al xassís B, que té una placa situada al seu lateral, com es pot veure a la Figura 9.12. El motor s'ha fixat a la placa amb quatre cargols de mètrica $M6 \times 1.0$ amb les seves corresponents volanderes normals i de tipus *grower* (que eviten el retrocés del cargol).

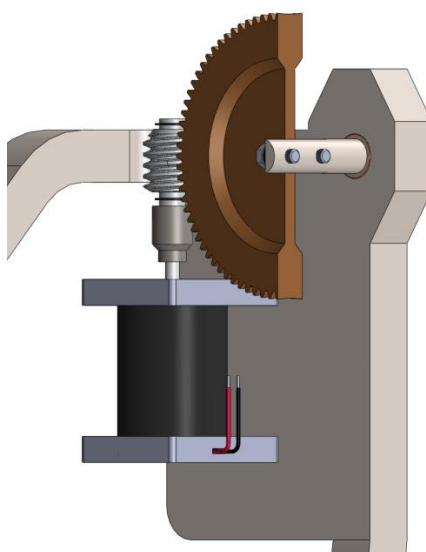


Figura 9.12 Vista en detall del suport del motor de l'angle α .

Pel que fa als suports, al motor, al vis sens fi, al seu eix i a la junta, són idèntics als del mecanisme de gir de l'angle β . En canvi, en aquest cas el vis sens fi està unit a una roda dentada que és un semicercle enlloc d'una corona circular. Aquesta està soldada a la placa que estructura el xassís A, definit a l'apartat 9.2.1 Xassís A.

9.2.3. Xassís C

S'ha estructurat la màquina tal que el xassís C és la part que dóna el grau de llibertat del gir en el pla horitzontal (correspon a l'angle β que es defineix a l'apartat 10.3.1 Model dinàmic) i uneix l'actuador lineal amb el xassís B. A la Figura 9.13 es mostra el xassís C unit a l'actuador lineal.

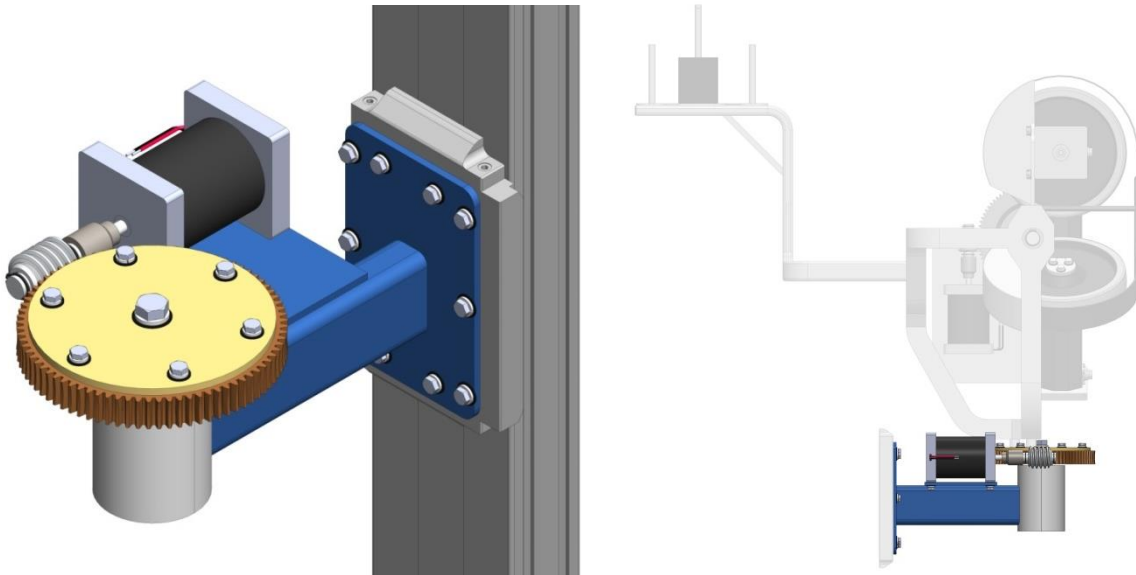


Figura 9.13 Vista isomètrica del xassís C unit a l'actuador lineal (esquerra) i vista lateral del conjunt de llançament amb el xassís C destacat (dreta).

El xassís C s'ha dividit en tres parts, les quals s'explicaran en detall a continuació:

- Unió amb l'actuador lineal
- Motor de l'angle de gir β
- Mecanisme de gir de l'angle β

Unió amb l'actuador lineal

Com es pot veure a la Figura 9.13, el xassís C i l'actuador lineal s'uneixen mitjançant una placa soldada a una biga i deu cargols:

- Sis de mètrica $M6 \times 1.0$ situats als extrems dels laterals de la placa.
- Quatre de mètrica $M7 \times 1.0$ situats més a prop del centre de la placa.

Cal comentar que aquests cargols han sigut seleccionats segons els forats de la plataforma de l'actuador lineal, i que estan fixats amb una volandera normal i amb una de tipus *grower*.

Pel que fa a la biga, s'ha dissenyat de tal manera que compleixi la condició de voladís mínim tenint en compte que l'actuador lineal no interfereixi amb el conjunt de mecanismes que realitza els llançaments.

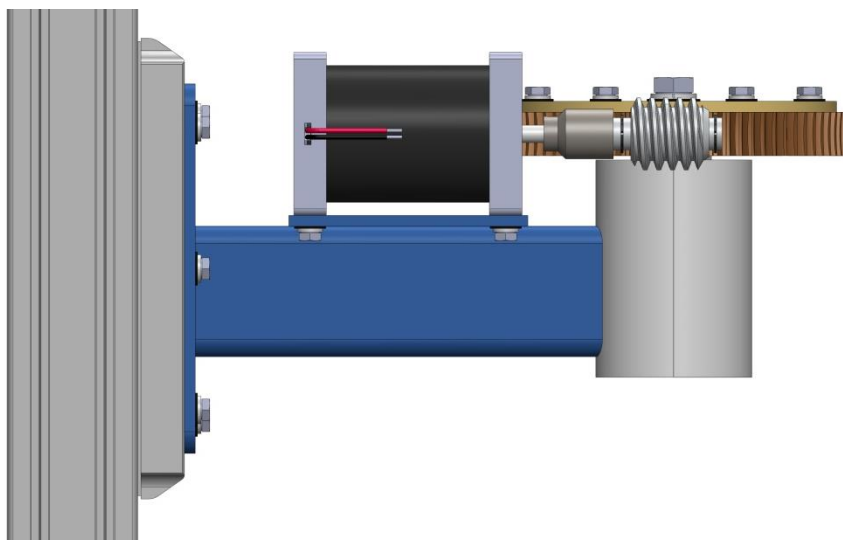


Figura 9.14 Vista lateral del xassís C unit a l'actuador lineal.

A més, es vol que aquesta biga tingui una secció tubular rectangular, ja que aquest tipus de seccions treballen be tant a flexió com a torsió. Per a dimensionar el perfil de la biga s'ha realitzat un petit estudi de flexió i torsió, suposant unes càrregues amb uns valors orientatius a l'alça per tal d'assegurar que no hi hagi fallida elàstica. A l'apartat 9.3.1 Càlcul de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament es pot veure aquest estudi.

Del dimensionament de la biga, es troba que la secció tubular ha de tenir una inèrcia a flexió mínima de $I_{z,min} = 24,40 \text{ cm}^4$, considerant que el material d'aquesta és l'alumini. La biga més òptima que compleix aquestes condicions té una base de 30 mm , una alçada de 60 mm i un gruix de 4 mm (Figura 9.15).

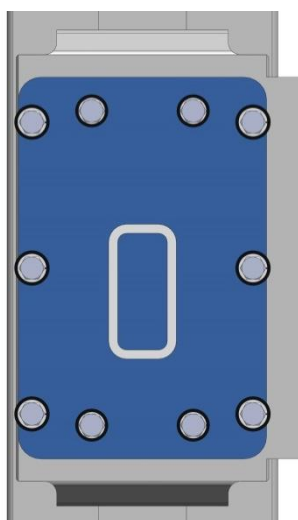


Figura 9.15 Vista de secció de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament.

Per altra banda, com es pot veure a la Figura 9.13, s'ha soldat una placa metàl·lica a sobre de la biga. Aquesta placa es pretén que faci de suport per al motor que ha d'accionar el mecanisme que dona l'angle de gir β (definit a l'apartat 10.3.1 Model dinàmic). A més, l'extrem oposat de la biga està soldat a aquest mecanisme (Figura 9.14).

Motor de l'angle de gir β

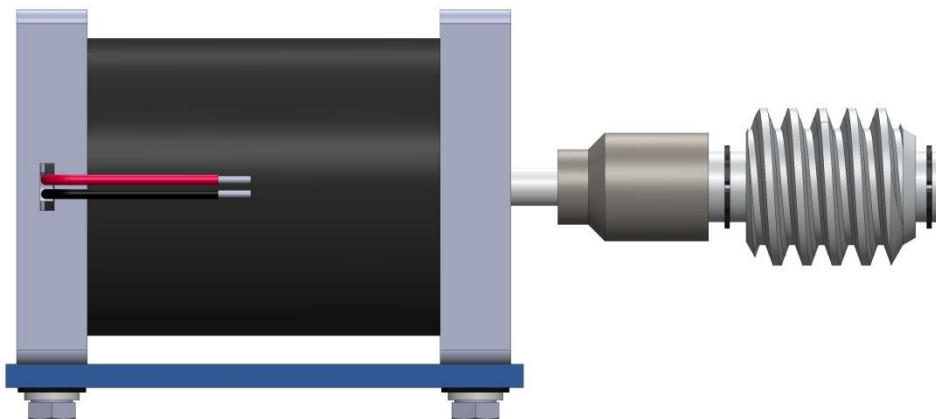


Figura 9.16 Motor G63x25 (Dunkermotoren GmbH., 2017), suport i conjunt del vis sens fi del seu eix.

Per subjectar el motor a la placa que sobresurt de la biga, s'han dissenyat dos suports:

- El de la part posterior del motor té una secció quadrada de tal manera que s'hi pugui encaixar el motor. A més, té un forat al lateral per tal de fer sortir els cables que li donaran energia al motor.
- El de la part davantera del motor, on està l'eix, és semblant però sense el forat pels cables i amb un forat per tal de poder fer sortir l'eix.

A tots dos suports se'ls ha fet dos forats roscats per tal d'unir-los a la placa amb quatre cargols de mètrica $M6 \times 1.0$ en total. Aquests cargols estaran fixats amb volanderes normals i de tipus *grower*.

Per accionar el mecanisme que dona el grau de llibertat del gir en el pla horitzontal, s'ha decidit utilitzar el motor del fabricant *Dunkermotoren*, model *GR 63x25* (Dunkermotoren GmbH., 2017). Es tracta d'un motor de corrent contínua síncron, s'ha escollit a

diferència del model emprat per impulsar les politges (apartat 9.2.1 Xassís A) principalment pel menor cost.

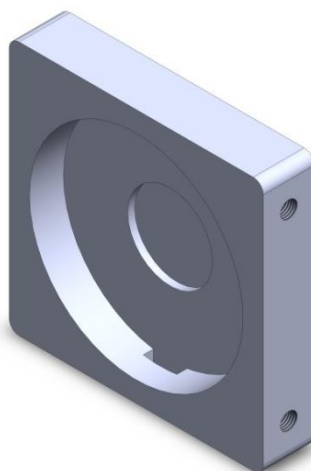


Figura 9.17 Vista isomètrica del suport posterior del motor de l'angle de gir β .

Per tal de transmetre la rotació de l'eix del motor a l'eix que permet l'angle de gir β s'empra un vis sense fi:

- El vis sense fi té un forat passant amb una entalla per tal d'acoblar-hi un eix de diàmetre de 15 mm.
- A aquest eix se li ha realitzat dues ranures per tal d'introduir-hi *circlips* exteriors, que asseguraran que aquest eix no es desplaci axialment. A més, també se li han realitzat dos sortints: un per unir-lo bé al vis sense fi i l'altre per acoblar-lo a la junta (la que uneix els eixos del motor i del vis sense fi).
- La junta s'ha dissenyat de tal manera que per una banda se li pugui introduir un eix de diàmetre 8 mm (com l'eix del motor) i per l'altra banda se li pugui fixar un eix de diàmetre 15 mm (l'eix del vis sense fi). Cal comentar que aquesta junta té una entalla a cada extrem, de tal manera que coincideixin amb els sortints dels eixos.

Mecanisme de gir de l'angle β

L'engrenatge cilíndric helicoïdal de la Figura 9.16 junt amb la roda dentada de la Figura 9.18 i la Figura 9.13, ambdós de mòdul 2, formen un vis sense fi, que permet la rotació en l'angle β .

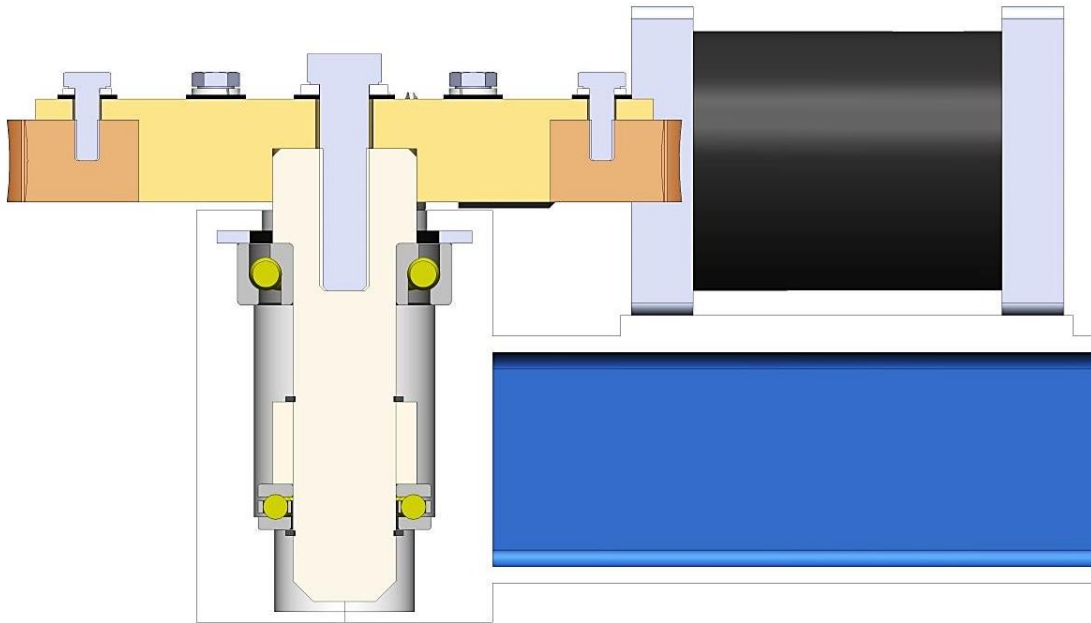


Figura 9.18 Vista de secció del mecanisme dissenyat per habilitar el gir de l'angle β .

- La roda dentada, que és una corona circular de diàmetre interior 100 mm i diàmetre exterior 154 mm , està unida al disc de la Figura 9.18 i la Figura 9.13 amb sis cargols de mètrica $M6 \times 1.0$ i longitud 20 mm , fixats amb les corresponents volanderes normals i de tipus *grower*.
- Aquest disc té una cavitat de diàmetre 35 mm que permetrà acoblar-hi l'eix de rotació mitjançant un cargol de mètrica $M12 \times 1.0$ i longitud 50 mm amb les seves corresponents volandera normal i de tipus *grower*.

Pel que fa a l'eix:

- Té un extrem de diàmetre 35 mm amb un forat de diàmetre 11 mm i roscat de tal manera que s'hi pugui introduir el cargol de mètrica $M12 \times 1.0$.
- Excepte en l'extrem superior, té un diàmetre de 25 mm i una longitud total de 110 mm , a més de tenir els extrems aixamfranats, tal i com es veu a la Figura 9.18.
- Se li ha realitzat una petita ranura a la part inferior, on s'hi introduirà un *circlip* exterior per evitar-ne el desplaçament axial.

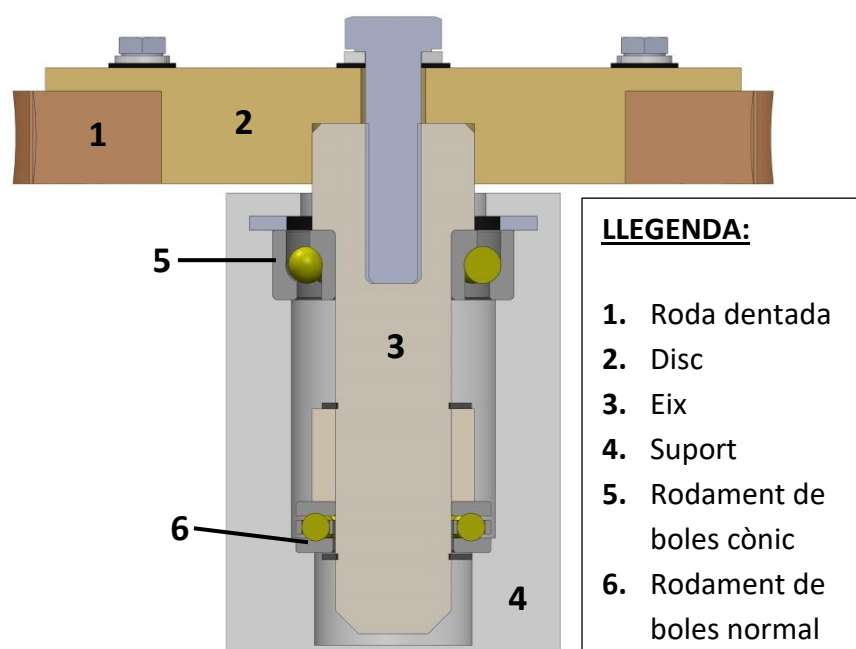


Figura 9.19 Vista de secció del mecanisme de gir de l'angle β amb els components indicats.

On es produeix el canvi de diàmetre de l'eix, es troba un rodament de boles amb contacte angular fixat al suport cilíndric mitjançant un disc de diàmetre interior 46 mm i diàmetre exterior 62 mm .

- S'ha decidit emprar aquest tipus de rodament perquè és capaç de suportar tant càrregues radials com axials i, per tant, permetrà transmetre l'esforç provocat pel pes dels xassissos al suport cilíndric.
- Concretament, al disseny CAD s'ha introduït el model *SKF 7205 BEGBY* (SKF, 2017).
- El dimensionament del disc ve determinat per les condicions del fabricant del rodament.

Per altra banda, també s'ha afegit un rodament rígid de boles a la part inferior de l'eix.

- La finalitat d'aquest és que absorbeixi els esforços radials provocats per les possibles inestabilitats degudes al gir del mecanisme. En aquest cas, per al disseny CAD s'ha utilitzat el model *SKF 51105* (SKF, 2017).
- Com es pot veure en les condicions que ha de tenir l'eix emprat, el diàmetre d'aquest en la part superior del rodament ha de ser de mínim 35 mm . Per això

s'ha dissenyat una peça que anirà ajustada amb serratge a l'eix, que a més estarà fixada amb un *circlip* exterior.

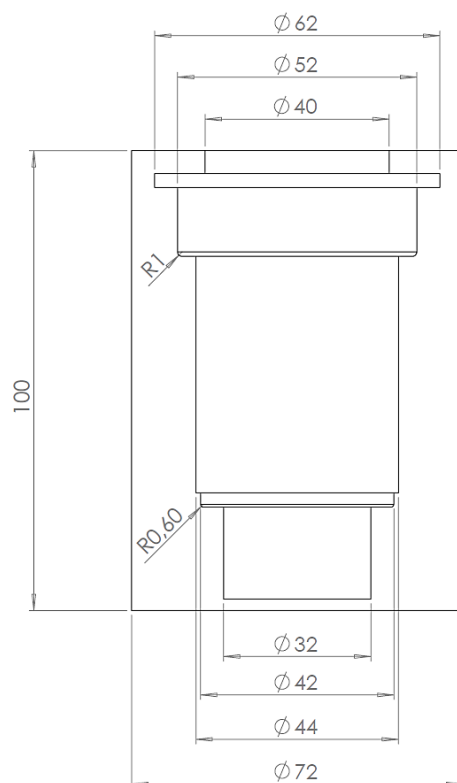


Figura 9.20 Plànol del suport del mecanisme del xassís C.

Com s'ha comentat anteriorment, l'extrem de la biga no fixat a l'actuador lineal està soldat a un suport cilíndric on s'hi allotgen totes les peces i tots els mecanismes anteriors. Cal comentar que aquest suport ha estat dissenyat d'acord amb les condicions que imposava el fabricant dels rodaments de boles emprats. A la Figura 9.20 s'hi poden veure les dimensions més característiques d'aquest.

A part, cal especificar que el suport complet està format per dues meitats simètriques (en el pla vertical) soldades a posteriori del muntatge del mecanisme. En el cas que no fos així, el muntatge del mecanisme seria impossible.

Per últim, cal afegir que aquest xassís està unit amb el xassís B (9.2.2 Xassís B) mitjançant tres petites columnes soldades al disc que es troba fixat a la roda dentada (Figura 9.21). Aquestes seran les encarregades de transmetre la rotació en l'angle β al conjunt de llançament.

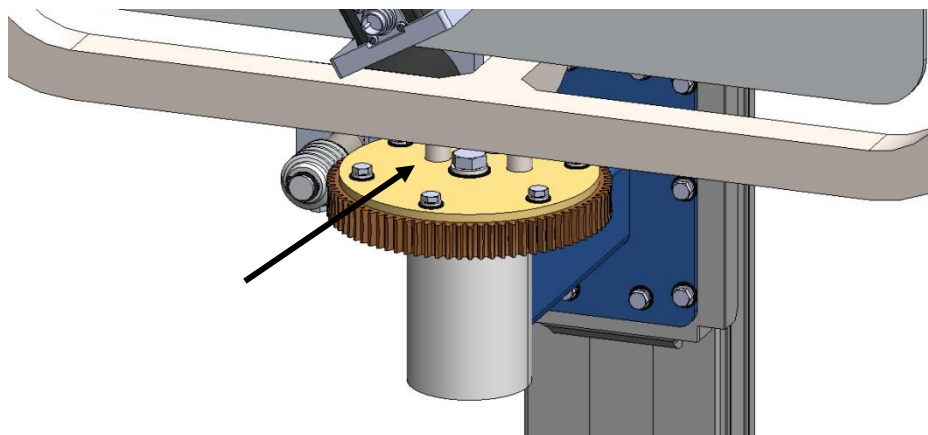


Figura 9.21 Vista en detall de dues de les tres columnes que uneixen el xassís C i el xassís B.

9.2.4. Sistema d'elevació

Un element característic de la màquina és la capacitat de poder simular un llançament de tipus servei, per tal d'aconseguir-ho és necessari que tot el conjunt que realitza el llançament es pugui elevar. Tal i com es veurà a l'apartat 10.3.1 Model dinàmic, les alçades objectiu per realitzar els llançaments són de 1,1 m i 2,6 m, per tir de camp i servei respectivament.

Inicialment es va pensar en un sistema d'elevació basat en columnes elevadores, però es va descartar perquè la seva cursa era limitada i no permetia arribar a l'alçada desitjada per a realitzar un servei. A part, també es va creure que el sistema podria donar lloc a inestabilitats estructurals.

El sistema d'elevació s'ha abordat de tal manera que no es copiï el disseny de la màquina d'inspiració, *Ace Attack* (6.1.4 Disseny d'inspiració). Partint d'aquesta base, s'ha decidit plantejar un disseny consistent en un actuador lineal.

Les alçades a tenir en compte en el disseny han resultat conflictives, ja que per obtenir les alçades objectiu ja mencionades i que la màquina pogués passar per una porta es necessita d'un sistema complex.

- Perquè l'actuador pugui situar el punt de llançament a les alçades objectiu, es necessita una cursa de mínim 1,5 m situant el punt més baix del recorregut a 1,1 m.

- Aleshores, s'obtingria una màquina d'alçada de mínim 2,6 m, per tant, no passaria per una porta estàndard (considerant que en els clubs de tennis on s'hi pugui utilitzar la màquina, tinguin aquestes portes en els magatzems i a les pistes de tennis).

Per aquest motiu, s'ha considerat que el sistema d'elevació hauria d'incloure un mecanisme que permeti plegar la màquina quan no estigui en funcionament. Tal i com s'ha mencionat a l'apartat 4.2 Abast, aquest sistema de plegament no s'ha assolit aquest treball.

Mecanisme d'elevació del disseny d'inspiració

La màquina *Ace Attack* consta d'un sistema d'elevació basat en un conjunt de barres paral·leles accionades per un cilindre. Tal i com es veu en la Figura 9.22, aquestes barres estan unides a un xassís tal que aquest manté la seva verticalitat durant el procés d'elevació (les dues configuracions es poden veure en la Figura 6.3).



Figura 9.22 Fotograma de vídeo promocional de l'*Ace Attack* (Oncourt Offcourt, Ltd., 2017) del procés d'elevació de la màquina.

Actuador lineal

El disseny plantejat consisteix en l'ús d'un actuador lineal *Hepco PSD80* (HepcoMotion, 2017). Per l'elecció s'han tingut en compte dues variables: cursa i velocitat d'actuació.

L'actuador *PSD80* resulta d'una solució de compromís entre les dues variables, tal que la cursa d'aquest component és de $1,29\text{ m}$ (tot i que la seva longitud és de $1,5\text{ m}$) i la velocitat d'actuació màxima que pot assolir és de 8 m/s (una velocitat mitja d'aproximadament 2 m/s permetria canviar la configuració de la màquina entre un servei i un tir de camp amb una freqüència suficientment elevada).



Figura 9.23 Model CAD i fotografia del actuador lineal *PSD80* (HepcoMotion, 2017).

El funcionament de l'actuador es basa en un mecanisme de fusell (en castellà *husillo*). Aquest fusell és solidari a un eix que s'acobla a un motor per un dels extrems de l'actuador. Per altra banda, el fusell està unit a una plataforma que, mitjançant rodes, es desplaça linealment.

En el disseny CAD realitzat, les alçades obtingudes han estat de $1,17\text{ m}$ pel llançament de tipus tir de camp i $2,46\text{ m}$ pel de tipus servei. Com el sistema d'elevació no està optimitzat, es produeixen aquestes diferències respecte les alçades objectiu; per tant, en fases posteriors del projecte serà imperatiu depurar el disseny. També s'ha de tenir en compte que la inclusió d'un mecanisme de plegament comportaria un canvi en el disseny de la base (apartat 9.2.6 Base de la màquina).

9.2.5. Emmagatzematge i captació de pilotes

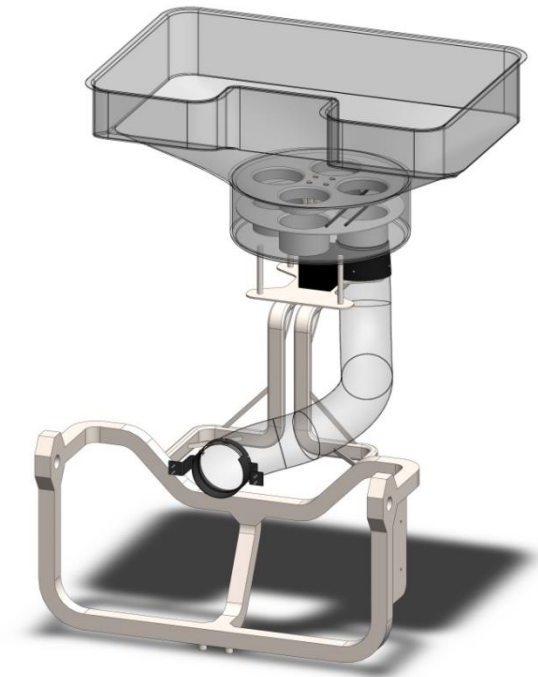


Figura 9.24 Vista dimètrica del sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes junt amb el xassís B.

El sistema d'emmagatzematge i captació de pilotes està basat en el sistema de la màquina *Ace Attack* ([6.1.4 Disseny d'inspiració](#)) i consta de les següents parts:

- Cistella
- Carrusel
- Tub d'alimentació de pilotes

Cistella

En comparació amb la del disseny d'inspiració, aquesta té una superfície lleugerament inferior, però una alçada superior de tal manera que es guanya capacitat respecte aquesta. Cal recordar que aquesta cistella està recolzada mitjançant quatre petites columnes a la xapa situada a l'últim tram de la biga dimensionada al xassís B ([9.2.2 Xassís B](#)).

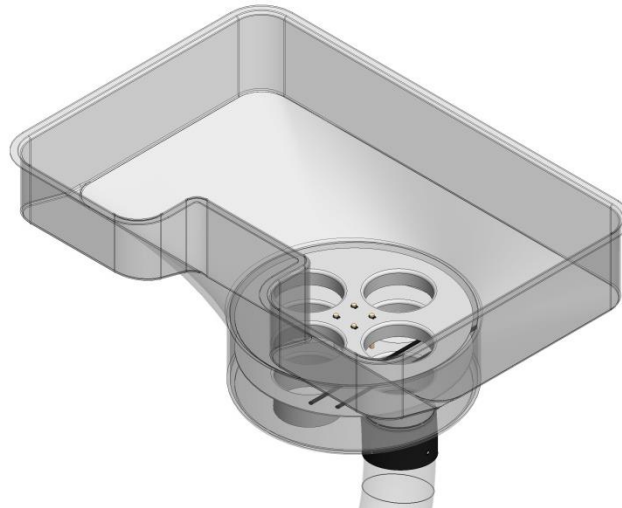


Figura 9.25 Vista isométrica de la cistella d'emmagatzematge de pilotes.

Carrusel

Un carrusel rotatori que fa que les pilotes, de diàmetre aproximat 66 mm, es vagin introduint en els seus forats.

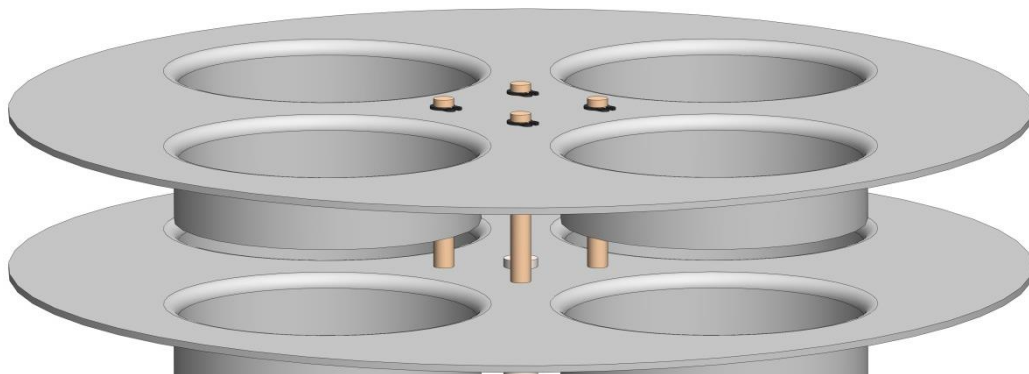


Figura 9.26 Vista en detall del carrusel i les seves unions.

- Aquest carrusel consta de dues parts que giren solidàriament (Figura 9.26). La part superior s'encarrega de la captació de pilotes, mentre que la part inferior les subministra al tub d'alimentació de les pilotes.
- En el punt on coincideixen els forats del carrusel i el forat del tub d'alimentació, hi ha unes barres que separen la part superior de la part inferior. La seva funció és evitar que una pilota que està sent introduïda a la part superior caigui directament al tub d'alimentació de pilotes, ja que podria encallar-se.

- Perquè la part superior i la inferior girin solidàries, s'han fet quatre orificis de 6 mm de diàmetre on estan situats quatre eixos amb *circlips* als extrems per evitar que es desplacin axialment (Figura 9.26).
- Per últim, s'ha unit la part inferior a l'eix del motor, que és la caixa negra situada a la biga sortint del xassís B. També s'hi ha posat un *circlip*.

Tub d'alimentació de pilotes

Un tub flexible que condueix les pilotes captades pel carrusel al punt de llançament. S'ha hagut de tenir en compte que l'actuador lineal fa d'obstacle perquè el tub segueixi la seva trajectòria natural.

Per fixar el tub d'alimentació a la cistella, s'ha dissenyat un suport metàl·lic amb quatre petits orificis que són travessats per un petit eix amb dos *circlips* als extrems. Aquest element actua com un cargol però deixant cert joc per a les possibles oscil·lacions que es poden donar durant el procés de caiguda de les pilotes.



Figura 9.27 Vista de secció de la unió del tub d'alimentació amb la cistella (esquerra) i vista isomètrica de la unió del tub d'alimentació amb el xassís A (dreta).

Per altra banda, per unir el tub al xassís A, s'ha dissenyat un suport semblant al del disseny d'inspiració però amb uns sortints on estaran situats quatre cargols de mètrica $M4 \times 0.7$. Aquests cargols estaran fixats al xassís A a l'alçada del punt de llançament amb les seves corresponents volanderes normals i de tipus *grower*. La unió entre el tub i aquest suport és idèntica a la mencionada anteriorment.

9.2.6. Base de la màquina

És l'element que serveix de suport de tota la màquina, és el contacte amb el terra a través de quatre rodes i es busca aconseguir que aportï la màxima estabilitat possible.

Rodes

S'han optat per unes rodes industrials estàndard amb un sistema de fre incorporat per tal de bloquejar el lliscament de la màquina respecte el terra. D'aquesta manera, s'assegura la posició fixa de la màquina en el moment del llançament de la pilota (ja que en l'apartat 10.3.1 Model dinàmic es considera que la posició de la màquina és fixa).

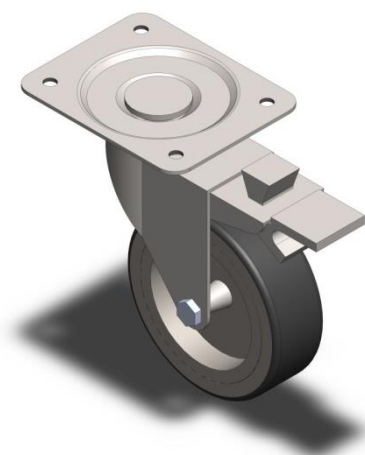


Figura 9.28 Arxiu CAD de les rodes model A-PU 2-1216 (TraceParts S.A.,

Per aquest motiu, s'ha treballat amb l'arxiu CAD (Figura 9.28) de les rodes model A-PU 2-1216 (TraceParts S.A., 2017). Vistes les característiques de les rodes (Figura C.1, de l'Annex C), la selecció del model no és òptima degut a la càrrega que son capaces de suportar. Seria imperatiu en fases posteriors del disseny avaluar si les rodes seleccionades estan sobredimensionades.

Estructura

A fi de contenir el motor que alimenta l'actuador lineal, s'ha dissenyat un recipient prismàtic buit que, a més, serveix de nexa d'unió entre els tubs de l'estructura.

- Aquest component està unit a una tapa mitjançant vuit cargols de mètrica $M8 \times 1.0$ i fixats amb una volandera normal i una de tipus *grower*, per evitar el retrocés del cargol.

- La tapa està foradada per la part superior perquè s'hi pugui introduir l'eix de l'actuador lineal. A part, està fixada a l'actuador a través de quatre cargols de mètrica $M6 \times 1.0$, amb les seves corresponents volanderes normals i de tipus *grower*.

Cal aclarir que el motor mencionat no s'ha inclòs en el disseny CAD i s'ha representat com una caixa negra. Aquest motor ha d'estar proveït pel fabricant de l'actuador lineal (9.2.4 Sistema d'elevació), que serà qui el dimensioni.

Per tal de guanyar estabilitat, s'ha optat per un disseny (Figura 9.29) amb dos tubs de secció rectangular inclinats 30° respecte el pla de l'alçat i el pla del perfil, respectivament plans $Y - Z$ i $X - Z$ (Figura 10.5), que uneixen les rodes posteriors de la màquina amb el recipient que conté el motor de l'actuador lineal. S'ha decidit que aquests tubs tinguin aquesta inclinació perquè el disseny d'inspiració (6.1.4 Disseny d'inspiració) tenen aproximadament les mateixes directrius.

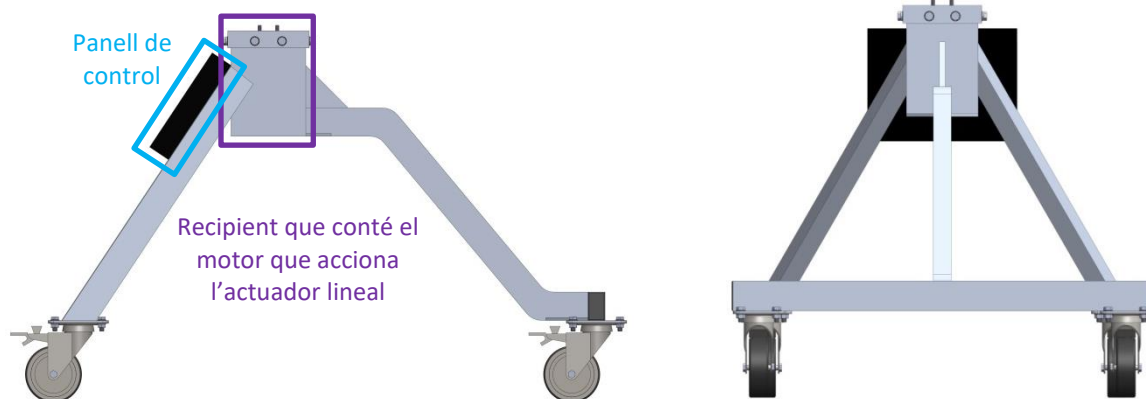


Figura 9.29 Vistes de perfil i alçat de la base de la màquina.

Per altra banda, les rodes davanteres i el recipient que conté el motor de l'actuador lineal estan unides mitjançant un tub amb la mateixa secció que l'anterior amb uns reforços (nervis) en aquesta unió, per tal de reduir l'efecte de concentració de tensions degut al canvi brusc de secció. Aquest tub, que té dos canvis de directriu, s'acaba unint de forma transversal a un altre tub de la mateixa secció, que alhora serveix d'unió per a les dues rodes davanteres.

La unió amb cada roda es realitza mitjançant una placa soldada als tubs amb quatre forats, on aniran roscats quatre cargols de mètrica $M8 \times 1.0$ i fixats amb una femella i les corresponents volanderes.

9.2.7. Altres elements

Altres elements de la màquina, que no s'han dissenyat i queden fora de l'abast (apartat 4 Objectius i abast), s'inclouen en aquest subapartat. Corresponen a elements que tenen una component elèctrica o electrònica, però que es tracta a nivell de col·locació sobre tot el conjunt de la màquina.

Electrònica de potència

Els elements d'electrònica de potència inclouen els elements que permeten el control sobre els motors emprats (els de les politges *BG 65x75* (Dunkermotoren GmbH., 2017) i els dels angles *GR 65x25* (Dunkermotoren GmbH., 2017)) i la *Raspberry Pi*, que centralitza el control.

Alimentació elèctrica i panell de control

Per comoditat, l'endoll per tal d'alimentar la màquina de la xarxa elèctrica s'haurà de posar amb origen a la base de la màquina. D'igual manera, el panell de control també haurà d'estar a la base, ja que no és necessari que es mogui amb tot el conjunt de llançament i ha d'estar a l'abast de l'usuari.

Es planteja treballar en una petita estructura sota la unió entre actuator i base per tal de situar el panell de control (panell representat a la Figura 9.29) i l'origen de l'endoll de la màquina.

Cables elèctrics

Es classifiquen els cables segons la distància que han de recórrer:

- De poc recorregut, com els corresponents als que anirien dels motors al conjunt d'electrònica de potència.

- De llarg recorregut, que van del conjunt d'electrònica de potència fins la base on es situa l'alimentació elèctrica.

El cas del cablejat de poc recorregut seria necessari estudiar-ne la seva implementació mitjançant brides metàl·liques que s'enganxin a les estructures pertinents. En canvi, pel cas del cablejat de llarg recorregut, com han de permetre el funcionament de l'actuador lineal, hauria d'estudiar-se un sistema basat en una cadena portacables que es mogui amb el conjunt de llançament.

9.3. Càlculs del disseny mecànic

9.3.1. Càlcul de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament

En aquest cas, es suposa que el pes del motor que dona la rotació en l'angle β està ponderat en el pes aplicat en l'extrem de la biga i que l'efecte de la torsió és negligible.

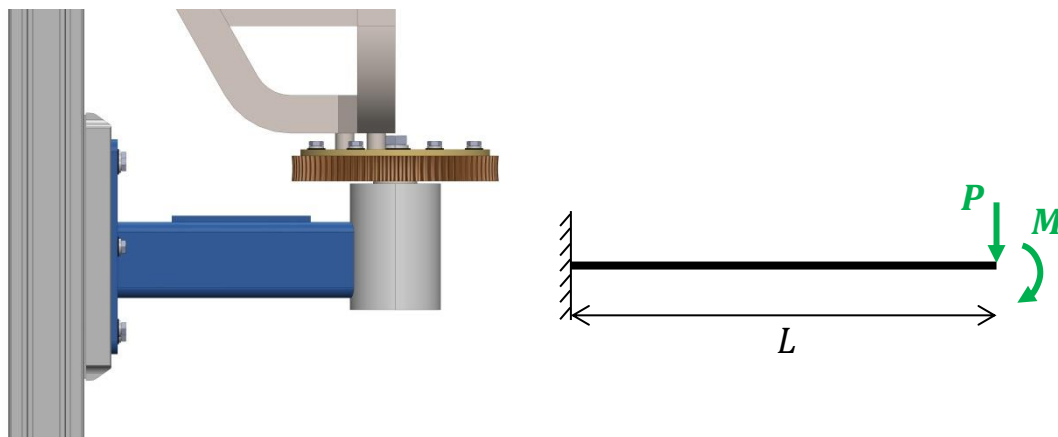


Figura 9.30 Esquema de simplificació de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament.

Com en alguns llançaments es produeixen increments d'angle de $0,5^\circ$ (10.3.2 Implementació del model i simulació), s'ha escollit un angle de flexió màxim d'un 10% d'aquest valor, és a dir, de $0,05^\circ$. En canvi, pel que fa a la fletxa màxima s'ha acabat optant per un valor de 1 mm , tot i que no afecti sensiblement al sistema.

Les dades per a la biga en aquest cas són:

$$\begin{cases} E = 70 \cdot 10^3 \text{ MPa} \\ f_y = 200 \text{ MPa} \end{cases}, \quad \begin{cases} P = 500 \text{ N} \\ M = 10000 \text{ Nmm} \\ l = 225 \text{ mm} \end{cases}$$

Per al dimensionament d'aquesta biga s'han utilitzat la Llei de Navier i els teoremes de Mohr.

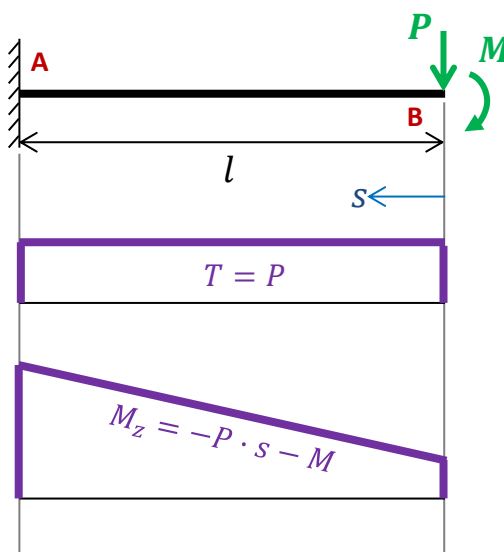


Figura 9.31 Diagrama d'esforços de la biga que suporta el conjunt de xassissos de llançament.

En l'encastament:

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y = \left| \frac{P \cdot l + M}{I_z} \cdot y_{\max} \right| = \sigma_{adm} \rightarrow \sigma_{adm} = \frac{P \cdot l + M}{W_{z,min}} \rightarrow$$

$$W_{z,min} = \frac{P \cdot l + M}{\sigma_{adm}}$$

$$\text{On } \sigma_{adm} = \frac{f_y}{\gamma_{seg}} = \frac{200}{1,5} = 133,3 \text{ MPa}$$

En l'extrem contrari:

$$\omega_B - \omega_A = \omega_B = \int_B^A \frac{M_z}{E \cdot I_z} ds = \int_0^l \frac{-P \cdot s - M}{E \cdot I_z} ds \rightarrow \omega_B = -\frac{1}{E \cdot I_z} \cdot \left(P \cdot \frac{l^2}{2} + M \cdot l \right)$$

$$v_B = \int_B^A \frac{M_z}{E \cdot I_z} (s_B - s) ds = \int_0^l \frac{P \cdot s^2 + M \cdot s}{E \cdot I_z} ds \rightarrow v_B = \frac{1}{E \cdot I_z} \cdot \left(P \cdot \frac{l^3}{3} + M \cdot \frac{l^2}{2} \right)$$

Per tant, queden aquestes condicions:

$$\begin{cases} I_{z,min} = \frac{1}{E \cdot v_{B,max}} \cdot \left(P \cdot \frac{l^3}{3} + M \cdot \frac{l^2}{2} \right) \\ I_{z,min} = -\frac{1}{E \cdot \omega_{B,max}} \cdot \left(P \cdot \frac{l^2}{2} + M \cdot l \right) \\ W_{z,min} = \frac{P \cdot l + M}{\sigma_{adm}} \end{cases}$$

Imposant que el desplaçament màxim sigui de $v_{B,max} = 1 \text{ mm}$ i que l'angle de flexió màxim sigui de $\omega_{B,max} = -0,05^\circ = -8,727 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$, donen els següents valors:

$$\begin{cases} I_{z,min} = 24,40 \text{ cm}^4 \\ I_{z,min} = 3,074 \text{ cm}^4 \\ W_{z,min} = 0,919 \text{ cm}^4 \end{cases}$$

La més restrictiva és la primera. Buscant a les taules del Grup Condesa (Grupo Condesa, 2014), es veu que el primer tub de secció rectangular que ho compleix és el que té una alçada de 60 mm , amplada de 30 mm i gruix 4 mm .

9.3.2. Càlcul de tensions de la biga d'unió del xassís B amb el sistema d'emmagatzematge

Les suposicions que s'han fet per realitzar la següent anàlisi són:

- Degut al dimensionament del sistema, s'ha vist que el centre de gravetat del conjunt format per la cistella (considerant el pes de les pilotes), el carrusel i el seu motor d'accionament, està desviat aproximadament 32 mm del centre de la biga més llunyana. Per tant, es considera que en aquesta s'hi aplica un pes vertical de $P = 100 \text{ N}$, equivalent a uns 10 kg de pes.
- Alhora, es suposa que es produeix un moment torsor en el punt d'aplicació de la càrrega P de $M = 3200 \text{ Nmm}$ (equival a multiplicar la càrrega P per la distància al centre de gravetat de la biga més allunyada d'aquest).
- Ambdues càrregues s'apliquen al centre de l'últim tram de la biga.

- La biga està soldada al xassís B, element que es suposa molt més rígid que aquesta. Per tant, es considera que la biga està encastada al xassís B.
- El material de la biga és l'alumini, per tant, s'han de tenir en compte les càrregues tèrmiques en l'encastament degudes a la soldadura. Es considera que el límit elàstic de l'alumini es redueix en un 40% en aquest punt.

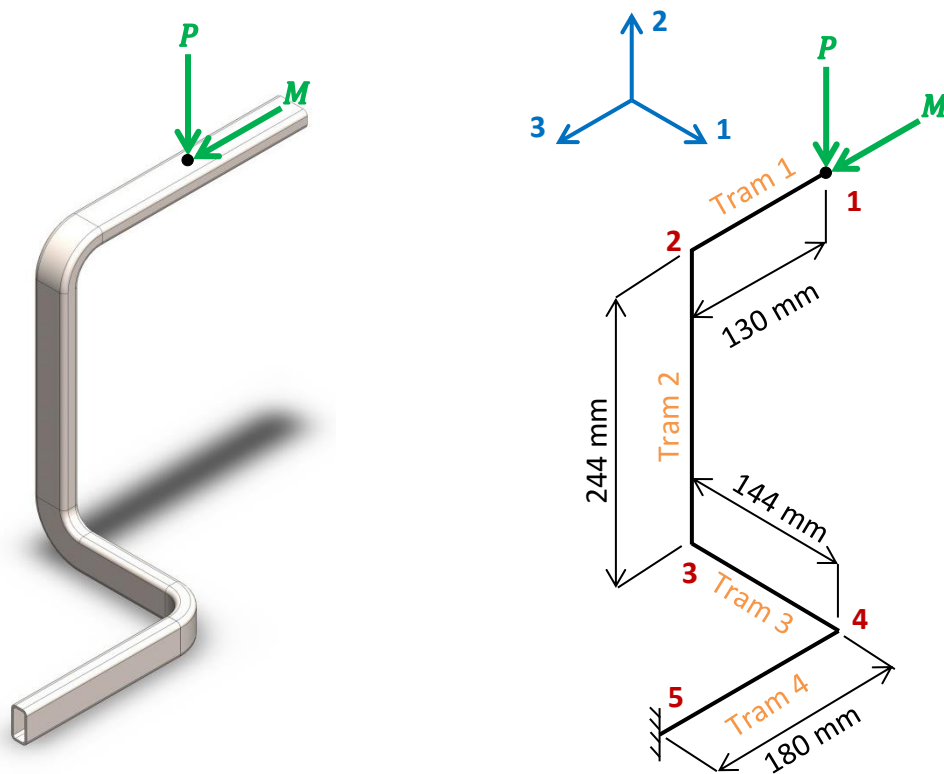


Figura 9.32 Simplificació de la biga d'unió del xassís B amb el sistema d'emmagatzematge.

Les dades de la secció s'han obtingut de les taules del Grup Condesa (Grupo Condesa, 2014), mentre que les dades del material s'han emprat unes genèriques.

$$\begin{cases} E = 70 \cdot 10^3 \text{ MPa} \\ f_y = 200 \text{ MPa} \\ f_{y,soldadura} = 120 \text{ MPa} \end{cases}$$

Dades per a la flexió:

$$\text{Trams 1 i 2: } \begin{cases} I_y = 1,54 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ I_z = 0,503 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \end{cases} \quad \text{Trams 3 i 4: } \begin{cases} I_y = 0,503 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ I_z = 1,54 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \end{cases}$$

Dades per a tracció-compensió i per a torsió:

$$A = 154 \text{ mm}^2; A_m = 356,3 \text{ mm}^2; e = 2 \text{ mm}$$

Nota: en tot el càlcul es treballa amb les unitats N i mm.

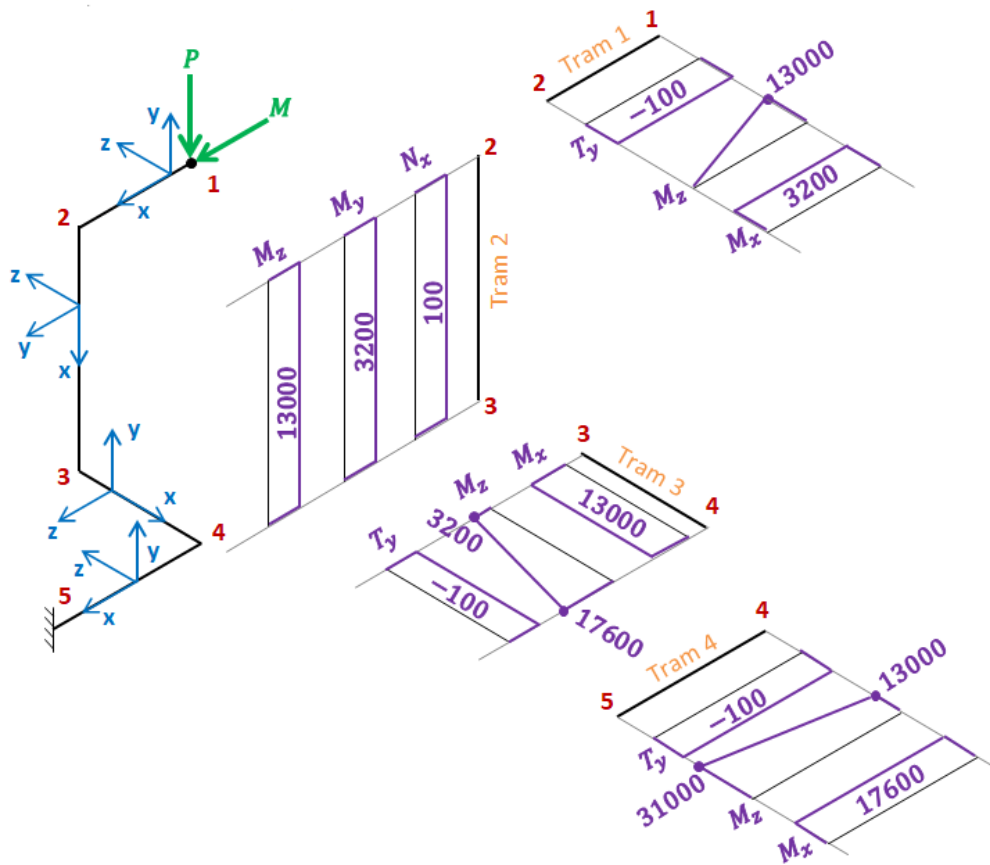


Figura 9.33 Diagrames d'esforços de la biga d'unió del xassís B amb el sistema d'emmagatzematge.

Per tant, s'analitzen dos possibles punts crítics:

- **Punt 3 pertanyent al tram 2**, considerant un punt de la cantonada de la secció:
 - Llei de Navier:

$$\sigma_{x,m\grave{a}x} = \left| \frac{N_x}{A} \right| + \left| \frac{M_z}{I_z} \cdot y_{m\grave{a}x} \right| + \left| \frac{M_y}{I_y} \cdot z_{m\grave{a}x} \right| =$$

$$= \frac{100}{154} + \frac{13000}{0,503 \cdot 10^4} \cdot 7,5 + \frac{700}{1,54 \cdot 10^4} \cdot 15 \rightarrow \sigma_{x,m\grave{a}x} = 20,71 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0$$

- **Punt 5 (encastament)**, considerant un punt de la cantonada de la secció:
 - Llei de Navier:

$$\sigma_{x,m\grave{a}x} = \left| \frac{M_z}{I_z} \cdot y_{m\grave{a}x} \right| = \frac{31000}{1,54 \cdot 10^4} \cdot 15 = 30,20 \text{ MPa}$$

- Teorema de *Bredt*:

$$\tau_{m\grave{a}x} = \frac{M_x}{2 \cdot A_m \cdot e} = \frac{17600}{2 \cdot 356,3 \cdot 2} = 12,35 \text{ MPa}$$

Vists els resultats, el punt crític és l'encastament. Per tant, ara es determinarà el coeficient de seguretat en aquest punt.

- Teorema de *Von Mises*: $\sigma_{eq,VM} = \sqrt{\sigma_{m\grave{a}x}^2 + 3 \cdot \tau_{m\grave{a}x}^2} = \sqrt{30,20^2 + 3 \cdot 12,35^2} \rightarrow$

$$\rightarrow \sigma_{eq,VM} = 37,0 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{seg} = \frac{f_{y,soldadura}}{\sigma_{eq,VM}} = \frac{120}{37,0} \rightarrow \gamma_{seg} = 3,24$$

9.3.3. Càlcul de la velocitat angular de les politges

Per a realitzar aquest càlcul s'ha fet la suposició que la pilota es comporta com un sòlid rígid que no llisca en el punt de contacte amb les politges i s'han utilitzat les fórmules de cinemàtica de sòlid rígid.

Per als càlculs es considera que el radi de les politges és $R = 0,1 \text{ m}$ i que el radi de la pilota és de $r = 0,033 \text{ m}$. En tots els efectes s'analitzarà el cas que dona una velocitat angular d'una politja (ω_i) més elevada. Aquest cas serà en el servei a una velocitat $v = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$ i amb un efecte de $\Omega = 2000 \text{ rpm} = 209,4 \text{ rad/s}$.

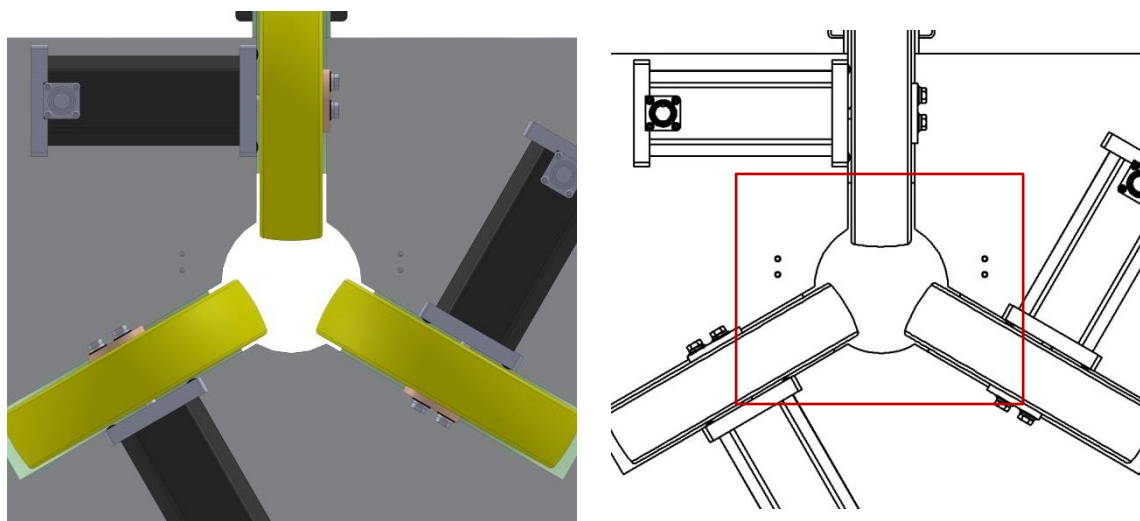


Figura 9.34 Vista perpendicular a la direcció de sortida de la pilota.

Efecte liftat

En aquest cas, la direcció i el sentit de la velocitat angular de la pilota $\vec{\Omega}$ són els de la Figura 9.35, ja que:

- La velocitat lineal de la pilota és de sortida.
- Per obtenir l'efecte liftat, la pilota ha de rebre més energia cinètica en la seva part superior.

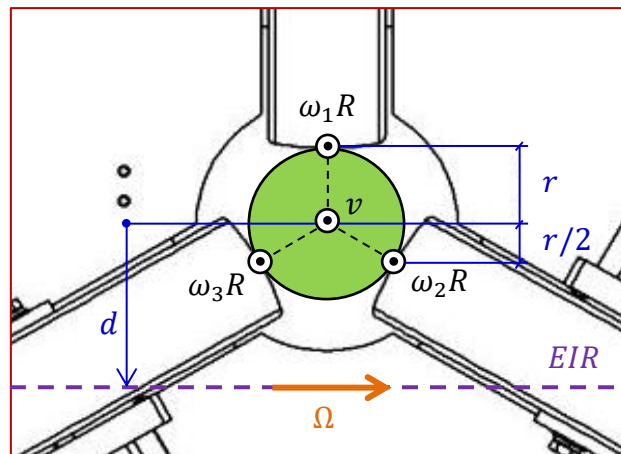


Figura 9.35 Esquema dels vectors velocitat en el cas d'efecte liftat.

Aclarir que la distància d és genèrica i no es necessita saber per tal de trobar les velocitats angulars de les politges.

$$\begin{cases} v = \Omega \cdot d \\ \omega_1 \cdot R = \Omega \cdot (d + r) \\ \omega_2 \cdot R = \omega_3 \cdot R = \Omega \cdot \left(d - \frac{r}{2}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1 = \frac{v + \Omega \cdot r}{R} \\ \omega_2 = \omega_3 = \frac{v - \Omega \cdot r/2}{R} \end{cases}$$

$$\text{Avaluant-ho en } v = 50 \text{ m/s i } \Omega = 209,4 \text{ rad/s: } \begin{cases} \omega_1 = 5455 \text{ rpm} \\ \omega_2 = \omega_3 = 4435 \text{ rpm} \end{cases}$$

Efecte tallat

Els motius de la direcció i el sentit de la velocitat angular de la pilota $\vec{\Omega}$ (Figura 9.36) són:

- La velocitat lineal de la pilota és de sortida.
- Per obtenir l'efecte tallat, la pilota ha de rebre més energia cinètica en la seva part inferior.

$$\begin{cases} v = \Omega \cdot d \\ \omega_1 \cdot R = \Omega \cdot (d - r) \\ \omega_2 \cdot R = \omega_3 \cdot R = \Omega \cdot \left(d + \frac{r}{2}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1 = \frac{v - \Omega \cdot r}{R} \\ \omega_2 = \omega_3 = \frac{v + \Omega \cdot r/2}{R} \end{cases}$$

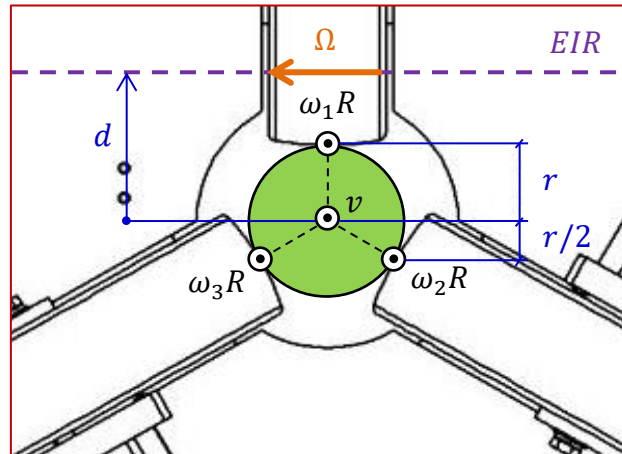


Figura 9.36 Esquema dels vectors velocitat en el cas d'efecte tallat.

Avaluant-ho en $v = 50 \text{ m/s}$ i $\Omega = 209,4 \text{ rad/s}$: $\begin{cases} \omega_1 = 4095 \text{ rpm} \\ \omega_2 = \omega_3 = 5115 \text{ rpm} \end{cases}$

Efecte lateral positiu

La velocitat angular de la pilota $\vec{\Omega}$ té la direcció i el sentit de la Figura 9.37 ja que:

- La velocitat lineal de la pilota és de sortida.
- Per obtenir l'efecte lateral positiu, la pilota ha de rebre més energia cinètica en la part més llunyana de l'eix instantani de rotació (EIR).

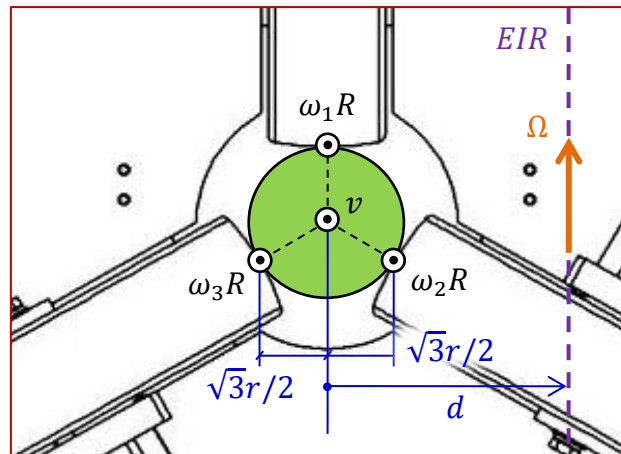


Figura 9.37 Esquema dels vectors velocitat en el cas d'efecte lateral positiu.

$$\begin{cases} v = \omega_1 \cdot R = \Omega \cdot d \\ \omega_2 \cdot R = \Omega \cdot \left(d - \frac{\sqrt{3}}{2}r\right) \\ \omega_3 \cdot R = \Omega \cdot \left(d + \frac{\sqrt{3}}{2}r\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1 = \frac{v}{R} \\ \omega_2 = \frac{2 \cdot v - \sqrt{3} \cdot r}{2R} \\ \omega_3 = \frac{2 \cdot v + \sqrt{3} \cdot r}{2 \cdot R} \end{cases}$$

$$\text{Avaluant-ho en } v = 50 \text{ m/s i } \Omega = 209,4 \text{ rad/s: } \begin{cases} \omega_1 = 4775 \text{ rpm} \\ \omega_2 = 4185 \text{ rpm} \\ \omega_3 = 5365 \text{ rpm} \end{cases}$$

Efecte lateral negatiu

Per simetria amb l'efecte lateral positiu, les velocitats angulars de les pols són idèntiques, canviant ω_2 per ω_3 .

Conclusions

Del càlcul realitzat s'obté que, per tal de realitzar llançaments amb una velocitat de sortida de la pilota de $v = 180 \text{ km/h}$, el cas més crític és el d'efecte liftat. En aquest cas és necessari que una de les pols giri a 5455 rpm . El motor a emprar per les pols haurà de poder assolir aquesta velocitat com a màxima en buit (règim de treball considerat per les pols, ja que en l'impuls es suposa que no tenen càrrega).

10. Disseny detallat - Entorn de control

10.1. Introducció a l'entorn de control

El disseny de l'entorn de control parteix amb l'objectiu d'aconseguir assolir les característiques del control de la màquina explicats a l'apartat 8.2 Descripció del disseny.

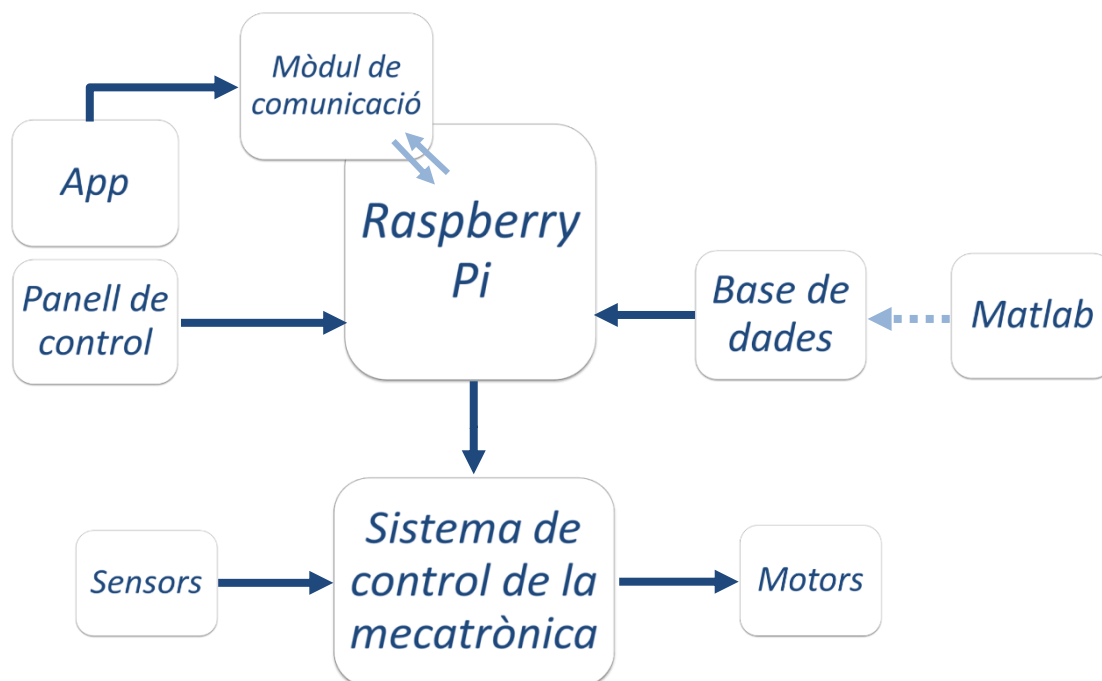


Figura 10.1 Esquema de l'entorn de control.

A l'esquema de la Figura 10.1 es mostren els diferents blocs que formen l'entorn de control, d'aquests blocs els assolits per l'abast del treball (4.2 Abast) són:

- Bloc “*Matlab*”: correspon a la implementació del model dinàmic i la simulació dels llançaments que la màquina ha de realitzar (apartat 10.3.2 Implementació del model i simulació). Correspon a un bloc que durant el funcionament de la màquina no hi serà, però durant el disseny de la màquina sí ja que és d'on s'obtenen les dades dels llançaments.
- Bloc “*Base de dades*”: correspon a l'emmagatzematge de les dades dels llançaments en una base de dades de *SQLite* (dins de l'apartat 10.4.1 Programa). Aquest bloc serà de consulta durant el funcionament de la màquina. Durant l'execució del programa del nucli del control a la *Raspberry Pi* els paràmetres per a realitzar cada llançament s'obtindran d'aquesta base.

- Bloc “*App*”: correspon al mètode principal de configuració de la màquina per part de l’usuari (apartat 10.4.2 Disseny de l’app). Serà el nexa d’unió entre màquina i jugador i serà l’encarregat d’enviar les dades dels llançaments desitjats cap a la *Raspberry Pi*.
- Bloc “*Raspberry Pi*”: correspon a la plataforma que centralitza tot el control de la màquina. Concretament en el treball s’ha assolit realitzar el programa d’aquest nucli de control (apartat 10.4.1 Programa).

Dins d’aquest capítol s’expliquen els apartats següents:

- Tractament de la pista: on es planteja la divisió realitzada de la pista en un mallat segons el tipus de llançament. Aquest apartat conté informació emprada en la resta d’apartats d’aquest capítol.
- Simulació del llançament: s’estructura en l’estudi del model dinàmic i la seva implementació per tal de realitzar la simulació dels llançaments.
- Disseny del sistema de gestió de dades: on s’inclou el desenvolupament realitzat de l’app i el programa del nucli de control.

10.2. Tractament de la pista

Les mesures d’una pista de tennis estan reglamentades, tant les dimensions del terra com les dels pals de la xarxa. A la Figura 10.2 es mostren les mesures, d’acord amb el reglament establert per la Federació Internacional de Tennis (International Tennis Federation, 2017), que divideixen el rectangle de la pista en les diferents zones de joc. Les línies de la pista no estan reglamentades, s’ha pres una amplada de 200 *mm*.

Respecte la xarxa i els pals que l’estenen, d’acord amb el reglament (International Tennis Federation, 2017) han de tenir una alçada de 1,07 *m* i el punt mig de la xarxa ha d’estar a 0,914 *m* del terra.

Per tal de realitzar tot el disseny dels llançaments que la màquina ha de poder fer, que les mesures de la pista de tennis siguin reglamentades és un avantatge. D’aquesta manera, s’ha plantejat realitzar un mallat de la pista tal que cada element de la malla correspongui a una posició del bot desitjada.

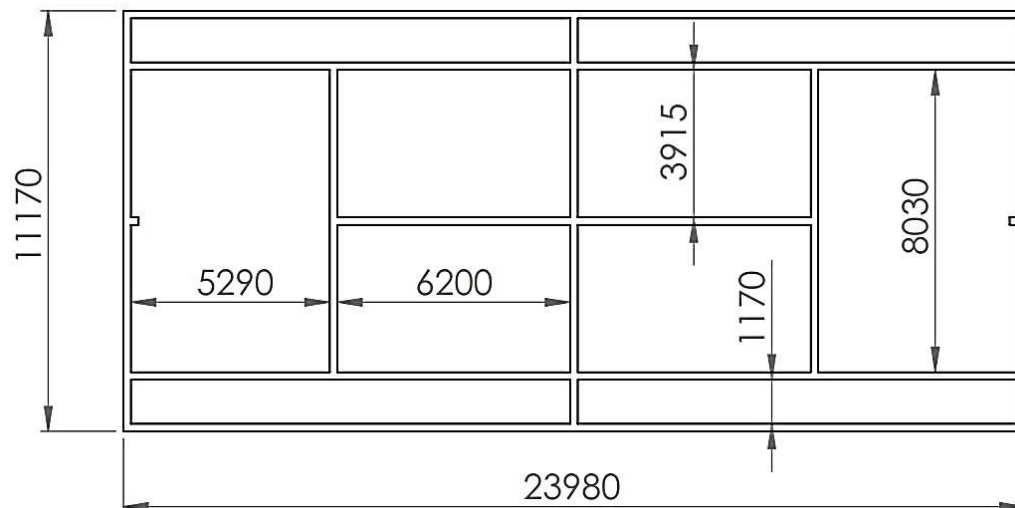


Figura 10.2 Plànol amb les mesures de la pista de tennis.

Per motius d'error en l'execució del llançament, el mallat ha de donar uns elements que tinguin unes dimensions grans. D'aquesta manera, en cas que la pilota es desvii, hi ha un cert marge per tal de botar dins de l'element desitjat.

Degut a que els tipus de llançament que la màquina ha de realitzar (serveis i tirs de camp) per normes del joc han d'anar a diferents zones de la pista, es realitza un mallat diferent per a cada tipus.

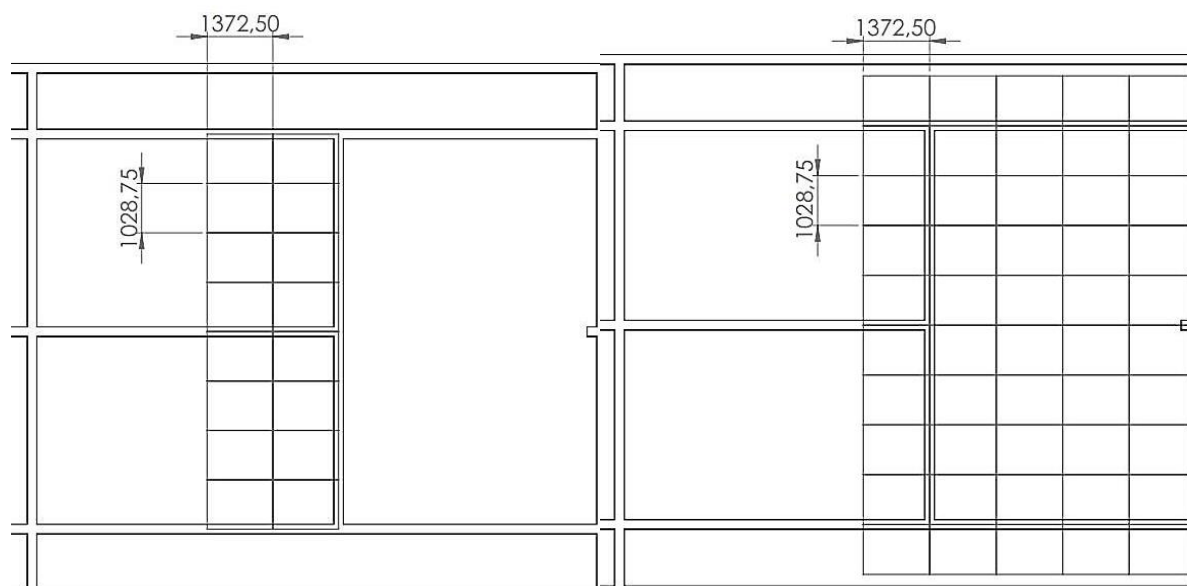


Figura 10.3 Plànol del mallat pels llançaments del tipus servei (esquerra) i pels llançaments del tipus tir de camp (dreta).

comportament de la pilota i plantejar les hipòtesis necessàries, tot per obtenir les equacions amb les que poder simular un llançament.

Amb les equacions obtingudes del model es realitza la implementació mitjançant el programari de *Matlab*.

10.3.1. Model dinàmic

Amb la finalitat de poder obtenir els paràmetres de la màquina per a fer botar la pilota de tennis a una posició desitjada, s'ha procedit a fer l'estudi dinàmic del llançament per tal de poder simular-ho.

Primer de tot, s'introdueix quin és el sistema de referència emprat (Figura 10.5), basat en que totes les pistes de tennis són de mesures estipulades pel reglament establert per la Federació Internacional de Tennis (International Tennis Federation, 2017)(Figura 10.2).

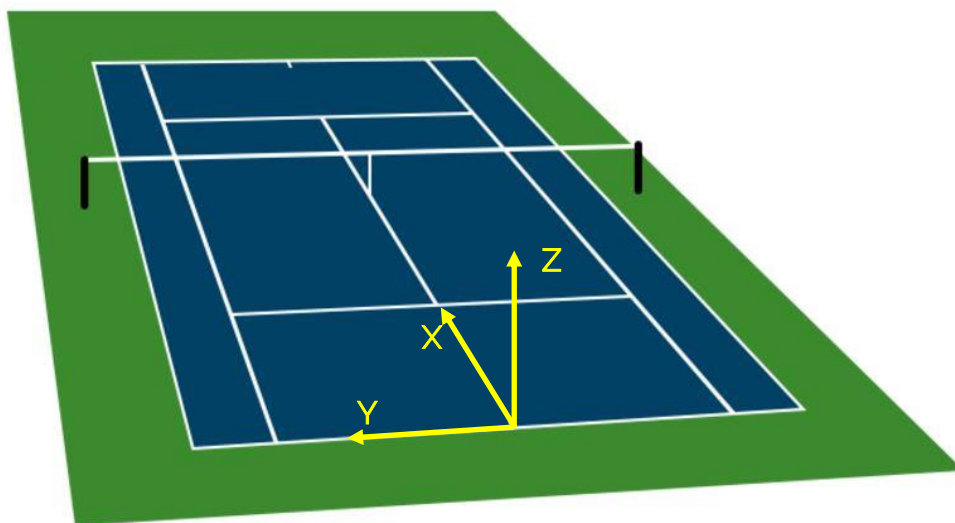


Figura 10.5 Esquema del sistema de referència. Imatge original de (SportMaster, 2017).

El següent pas es descriure quins són els graus de llibertat que per disseny s'atorguen a la màquina:

- Velocitats de rotació ω_1 , ω_2 i ω_3 de les politges, són les encarregades de donar l'impuls necessari a la pilota.

- Angle α de la màquina definit entre el pla horitzontal de la pista ($X - Y$) i el pla perpendicular a $X - Z$ que conté la direcció de llançament de la pilota.
- Angle β de la màquina definit entre el pla vertical $X - Z$ i el pla perpendicular a $X - Y$ i que conté la direcció de llançament de la pilota.
- L'alçada z_0 des d'on es situa el punt de sortida de la pilota.

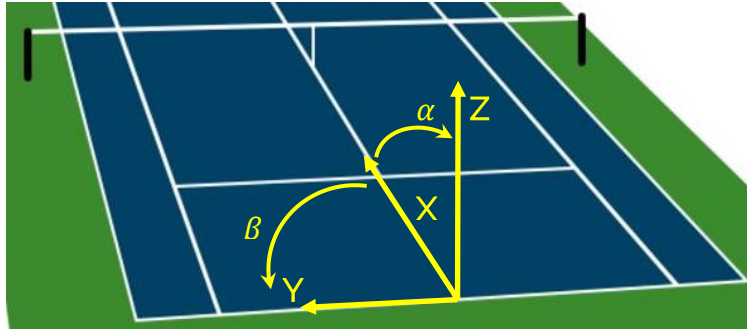


Figura 10.6 Esquema del sistema de referència amb els angles α i β . Imatge original de (SportMaster, 2017).

Les limitacions de la màquina imposades al disseny es consideren a la simulació, a continuació es fa un recull d'aquestes:

- La posició de la màquina s'estableix fixa, al punt mig de la línia de base, s'ha fet coincidir amb l'origen de coordenades del sistema de referència.
- Dues alçades possibles per a realitzar el llançament, l'alçada pel servei de $z_0 = 2,6 \text{ m}$ i per un tir de camp de $z_0 = 1,1 \text{ m}$.
- El rang de velocitats inicials s'estableix de 60 a 180 km/h , es consideren només increments de 1 km/h .
- El rang per a l'angle α s'estableix de -10 a 30° , es consideren increments de $0,5^\circ$ o 1° .
- El rang per a l'angle β s'estableix de $-16,9$ a $16,9^\circ$, d'acord amb les posicions de bot establertes pel disseny de la màquina C1 i C46 (Figura 10.4).
- Les posicions on la pilota pot botar són les indicades a l'apartat 10.2 Tractament de la pista.
- La velocitat màxima de rotació (màxim *spin*) s'estableix en 2000 *rpm*.

Per a realitzar la simulació del llançament, inicialment s'ha realitzat una cerca sobre informació d'estudis dinàmics de pilotes, els principals estudis utilitzats de referència

són: *Mathematical Analysis for a New Tennis Ball Launcher* (Wójcicki, et al., 2011) i *Ball Trajectories – Factors Influencing the Flight of the Ball* (Brody, et al., 2002). A més, en l'àmbit de l'aerodinàmica l'estudi de referència utilitzat és *Tennis Ball Trajectories – Aerodynamic Drag and Lift in Tennis* (Cross & Lindsey, 2013).

A l'anàlisi matemàtic (Wójcicki, et al., 2011) es tracta un model matemàtic per a realitzar un model dinàmic del llançament d'una pilota de tennis i un estudi sobre la deformació que pateix la pilota de tennis al passar a través de les politges. D'aquest estudi s'extreu quin tipus d'hipòtesis s'han de plantejar en un model d'aquest tipus de llançament, aleshores es prenen les següents hipòtesis:

- S'imposa que la pilota és comporti com un sòlid rígid.
- A la velocitat de rotació de la pilota o *spin* de la pilota es considera constant des del moment del llançament fins al bot.
- S'estableix que la velocitat de rotació ω_x és nul·la degut a que l'efecte en la direcció X no es pot aconseguir per la disposició de les politges. Els punts de contacte es troben en el mateix pla (pla $Y - Z$) i no es pot aconseguir l'efecte en la direcció normal a aquest pla.
- El cas de no tenir efecte (efecte pla) s'estableix una velocitat de rotació $\omega_y = 0,01 \text{ rad/s}$.
- El comportament aerodinàmic es simplifica a un cas 2D i els coeficients aerodinàmics s'establiran com a constants de valor $C_D = 0,507$ i $C_L = 0,2$.

Fent el contrast entre els dos estudis de referència en aquest treball (Wójcicki, et al., 2011) i (Brody, et al., 2002), s'estableix per a l'estudi dinàmic l'equació:

$$\vec{F}_D + \vec{F}_L + \vec{F}_g = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq. 10.1})$$

A continuació, es desglossen els termes implicats a l'equació (Eq. 10.1):

- **Força de resistència a l'avanç (*drag*)**

$$\vec{F}_D = -\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \cdot \vec{v} \quad (\text{Eq. 10.2})$$

On:

C_D : Coeficient aerodinàmic de resistència a l'avanç

ρ : Densitat de la pilota de tennis

R : Radi de la pilota de tennis

v : Mòdul de la velocitat de translació de la pilota

\vec{v} : Vector de la velocitat de translació de la pilota

Correspon a la força que l'aire (fluid en el que es desplaça la pilota) exerceix sobre la pilota quan aquesta hi avança.

▪ **Força de sustentació (*lift*)**

$$\vec{F}_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \vec{\omega} \times \vec{v} \quad (\text{Eq. 10.3})$$

On:

C_L : Coeficient aerodinàmic de sustentació

ω : Vector de la velocitat de rotació de la pilota

Correspon a la força que eleva la pilota degut a la diferència de pressions entre la part superior i inferior de la pilota quan aquesta avança per l'aire.

▪ **Força de la gravetat**

$$\vec{F}_g = m \cdot g \quad (\text{Eq. 10.4})$$

On:

m : Massa de la pilota

g : Acceleració de la gravetat

Correspon a la força que exerceix la Terra sobre la pilota de tennis.

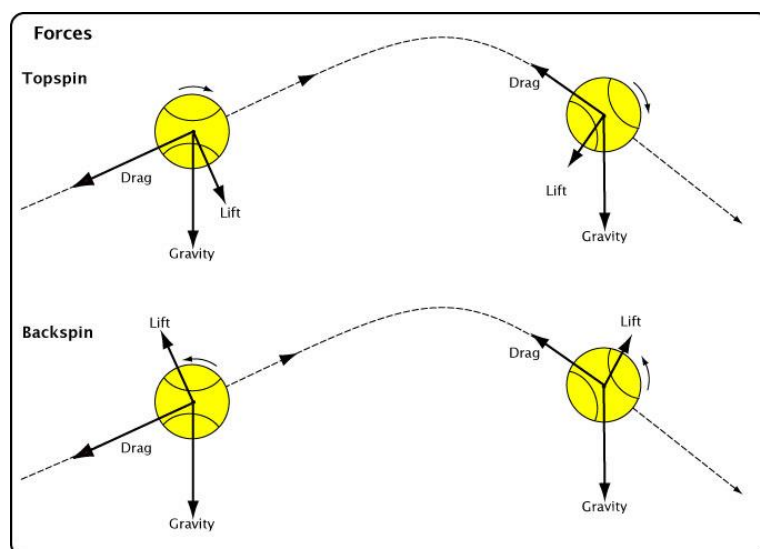


Figura 10.7 Forces implicades en el llançament d'una pilota de tennis, casos amb *spin*: efecte liftat (*Topspin*) i efecte tallat (*Backspin*). Imatge de (Cross & Lindsey, 2013).

Les direccions de les forces considerades a l'equació (Eq. 10.1) es poden observar a la Figura 10.7. Destacar que segons l'*spin* de la pilota, la direcció de la força de *lift* varia.

Per tal d'entendre el comportament aerodinàmic es va consultar a l'estudi *Tennis Ball Trajectories – Aerodynamic Drag and Lift in Tennis Shots* (Cross & Lindsey, 2013).

Degut a la velocitat que tindrà la pilota de tennis i la superfície característica d'aquesta, es considera un cas de flux turbulent. Aquest fet implica que la capa límit serà turbulenta provocant que tardi en separar-se i així creant una estela més petita que si fos laminar (Figura 10.8). Una estela petita implica una menor força de *drag*.

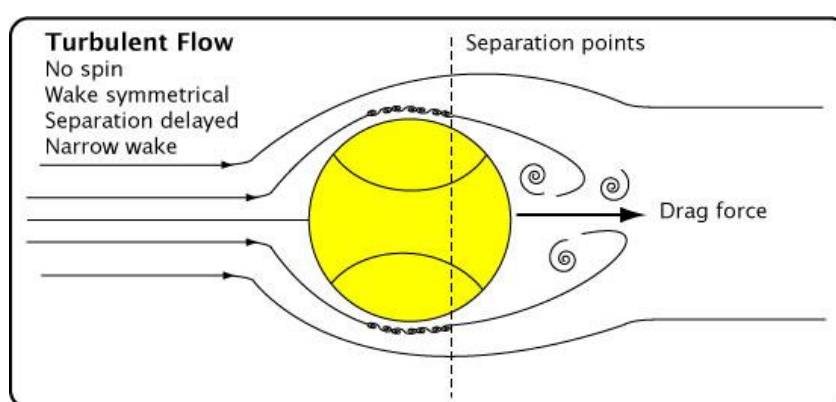


Figura 10.8 Comportament del flux d'aire turbulent al voltant de la pilota de tennis. Imatge de (Cross & Lindsey, 2013).

Per una altra banda, la sustentació de la pilota succeeix per la diferència de pressió al voltant de la pilota (Principi de Bernoulli): si per un costat de la pilota el flux d'aire passa més ràpid, hi haurà menys pressió i s'hi produeix la força de sustentació. A la Figura 10.9, s'observa com el *spin* de la pilota repercuteix en els punts de desprendiment de la capa límit, fa asimètric el desprendiment de la capa límit i de l'estela.

A l'estudi (Cross & Lindsey, 2013) es realitza una sèrie d'experiments per tal de determinar els coeficients aerodinàmics de *drag* i *lift* pels llançaments de pilotes de tennis. S'extreu la conclusió de que els coeficients no són constants, greument afectats per la superfície característica de la pilota de tennis, fent que per a cada pilota els coeficients variïn. El feltre de la superfície (en castellà *pelusilla*) provoca una gran variació sobre el desprendiment de la capa límit, també causa un efecte rampa sobre el flux de l'aire fent que sobre una part de la pilota el flux sigui més ràpid.

Per a aquest treball es considerarà els coeficients aerodinàmics constants, degut a que cap estudi ha aconseguit trobar una distribució acceptada per a aquests valors. S'han pres els valors $C_D = 0,507$ i $C_L = 0,2$, ambdós corresponen a la mitja dels valors determinats segons (Cross & Lindsey, 2013).

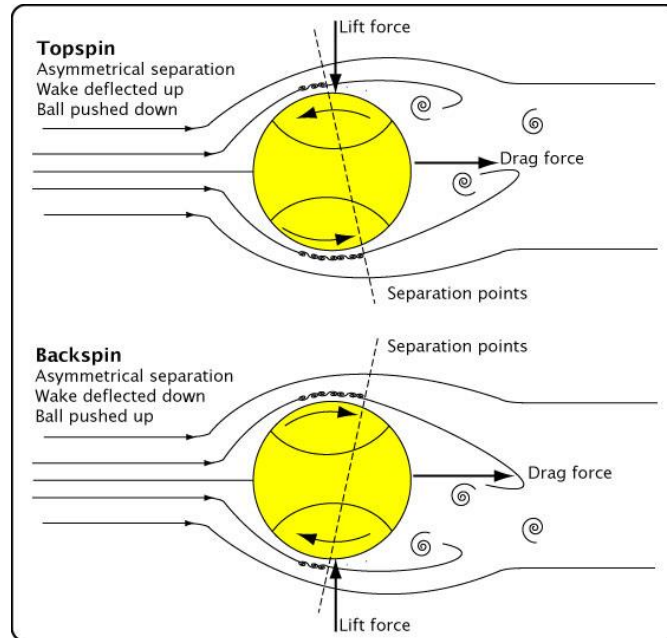


Figura 10.9 Comportament del flux d'aire al voltant de la pilota quan aquesta avança amb *spin*. Imatge de (Cross & Lindsey, 2013).

El tractament de l'equació (Eq. 10.1) es fa amb la descomposició en eixos X, Y i Z, havent establert aquests com a globals de la forma mostrada a Figura 10.5. Les equacions que es procediran a integrar són:

$$a_x = \frac{1}{m} \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \left(C_D \cdot v \cdot v_x + C_L \cdot R \cdot v \cdot \frac{\omega_y \cdot v_z - \omega_z \cdot v_y}{|\vec{\omega} \times \vec{v}|} \right) \right) \quad (\text{Eq. 10.5})$$

$$a_y = \frac{1}{m} \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \left(C_D \cdot v \cdot v_y - C_L \cdot R \cdot \frac{\omega_z \cdot v_x}{|\vec{\omega} \times \vec{v}|} \right) \right) \quad (\text{Eq. 10.6})$$

$$a_z = \frac{1}{m} \cdot \left(-m \cdot g - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \left(C_D \cdot v \cdot v_z + C_L \cdot R \cdot v \cdot \frac{-\omega_y \cdot v_x}{|\vec{\omega} \times \vec{v}|} \right) \right) \quad (\text{Eq. 10.7})$$

La simulació es realitza integrant en petits passos de temps, considerant que amb un pas suficientment petit el comportament de les variables és lineal. Com a condicions inicials del llançament, s'estableix:

- Les coordenades inicials x i y són fixes a zero.
- El vector acceleració a l'instant inicial és $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z) = (0; 0; -9,80665)$.

El model dinàmic té com a paràmetres d'*input* els següents:

- Velocitat de sortida de la pilota v_0 : correspon a la velocitat transmesa de les politges a la pilota, es descompon en $v_{0,x}$, $v_{0,y}$ i $v_{0,z}$.
- Angle α : degut a la naturalesa del llançament com a tir parabòlic, depèn de la velocitat de sortida.
- Angle β : determinat per la posició on es desitja fer el bot.

El llançament ha de complir amb una limitació deguda a la xarxa de la pista. La xarxa es troba a la coordenada $x = 11,89 \text{ m}$ i l'alçada és variable, excepte tres punts que estan estipulats (International Tennis Federation, 2017): l'alçada als extrems és $z = 1,07 \text{ m}$ i al mig de la xarxa $z = 0,914 \text{ m}$.

En el model es planteja que per quan la pilota arribi a la xarxa, l'alçada de la pilota ha de ser major a l'alçada de la xarxa per aquell punt. D'aquesta manera, a l'equació (Eq. 10.8) es calcula l'alçada de la xarxa segons la coordenada y de la posició de la pilota en aquell instant:

$$h = 0,914 + \frac{1,07 - 0,914}{5,485^2} \cdot y^2 \quad (\text{Eq. 10.8})$$

10.3.2. Implementació del model i simulació

El model s'ha implementat mitjançant el programari *Matlab*, a continuació s'explica l'estructura de l'*script* creat.

L'*script* amb el model itera donat un cert pas de temps i diferents paràmetres d'*input*: velocitat de sortida v_0 , angle α i posició del bot desitjada. Aquest *script* s'ha adaptat per a dues vessants de treball, d'una banda s'utilitza el model per a obtenir la representació gràfica en 3D del llançament considerat i d'altra per a obtenir les dades de tots els llançaments possibles donades certes condicions.

Representació gràfica d'un llançament

El codi de l'*script* per a la representació gràfica 3D es troba a l'Annex E, a continuació es comenta l'estructura del codi i el resultat obtingut.

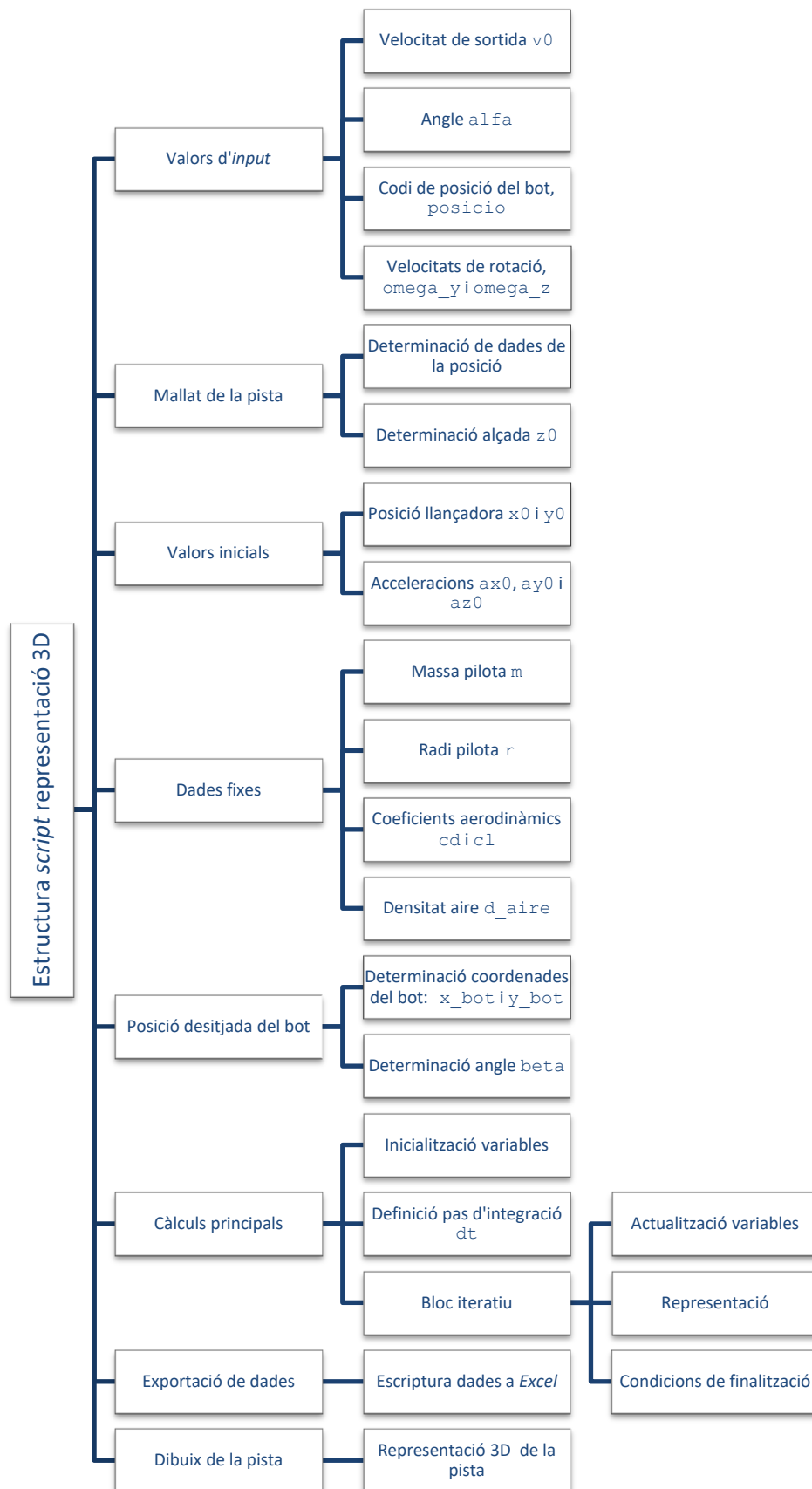


Figura 10.10 Esquema de l'estructura de l'script de representació gràfica d'un llançament.

A la Figura 10.10 s'ha esquematitzat l'*script* que correspon a la representació gràfica, s'han posat en ordre els blocs considerats en el codi i les variables principals tractades. Per aquest *script*, els valors d'*input* són:

- La velocitat de sortida v_0
- L'angle α
- El codi de posició del bot, `posicio`
- Les velocitats de rotació ω_y i ω_z

Aclarir que la variable `posicio` correspon al codi d'identificació comentat a l'apartat 10.2 Tractament de la pista.

La variable `posicio` s'emptra per a consultar al document "Mallat de punts.xls" (contingut del qual es troba a l'Annex D, corresponent a dades constants respecte la pista i el mallat). D'aquesta consulta s'extreuen:

- Les coordenades de la posició desitjada del bot: x_{bot} i y_{bot}
- Angle β
- L'alçada z_0

Per tal de realitzar l'actualització de les variables en el càlcul, és necessari obtenir la projecció de la velocitat de sortida v_0 en els tres eixos. A l'*script* s'implementa les equacions corresponents a aquesta projecció:

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \quad (\text{Eq. 10.9})$$

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \quad (\text{Eq. 10.10})$$

$$v_{0z} = v_0 \cdot \sin \alpha \quad (\text{Eq. 10.11})$$

El procediment d'actualització de les variables es realitza amb el pas d'integració dt definit. Dins d'aquest procediment s'apliquen les equacions corresponents a l'Eq. 10.5, Eq. 10.6 i Eq. 10.7.

Per tal de realitzar la representació 3D del llançament, es dibuixa un cercle vermell a les coordenades que té la pilota en cada iteració. Respecte les condicions de finalització, es consideren:

- Condició de que passi la xarxa: quan la coordenada x de la pilota correspon a la de la xarxa, la coordenada z que té la pilota ha de ser major a l'alçada de la xarxa per aquell punt (definit per la coordenada y).
- Condició de que la pilota sigui dins de la pista: s'ha establert que el càlcul s'aturi si les coordenades de la pilota es troben fora de la pista.

Aclarir que tot el bloc iteratiu, a part de tenir les condicions de finalització esmentades, s'atura si es dona la condició de que la pilota toqui el terra, tal que: $z - r < 0$.

Per tal de poder avaluar fàcilment si la posició on bota és la correcta, en aquest programa s'ha inclòs una representació de la pista de tennis (adaptació del codi de (de Wolski, 2013)).

A més, també s'afegeixen representats els mallats de treball, pels llançaments del tipus servei i del tipus tir de camp (Figura 10.3), respectivament. A les figures Figura E.2 i Figura E.3 de l'Annex E s'inclou el codi per dibuixar sobre la pista de tennis els mallats de treball.

De l'execució del codi complet (Figura E.1) s'obté la representació gràfica del llançament considerat i un arxiu per obrir amb *Microsoft Excel* (en endavant *MS Excel*) amb les dades de cada iteració realitzada.

Les dades que s'exporten en un arxiu *.xlsx* per a cada execució corresponen a:

- Velocitat de la pilota a cada iteració: v_x , v_y i v_z
- Coordenades: x , y i z
- Acceleracions: a_x , a_y i a_z
- Angles: α i β
- Velocitat de sortida: v_0
- Velocitat de la iteració anterior: v_{0x} , v_{0y} i v_{0z}

Aclarir que les dades d'angles α i β i la velocitat de sortida v_0 són constants durant totes les iteracions, i que les dades sobre la velocitat de la iteració anterior s'inclouen com a dades de comprovació pel bloc iteratiu.

Respecte la representació gràfica del llançament, a continuació es mostren dos exemples. A la Figura 10.11 es mostra la representació d'un llançament del tipus servei dirigit a la posició S12, amb una velocitat v_0 de 145 km/h (Nivell professional – Segon servei), sense efecte i un angle α de -4° .

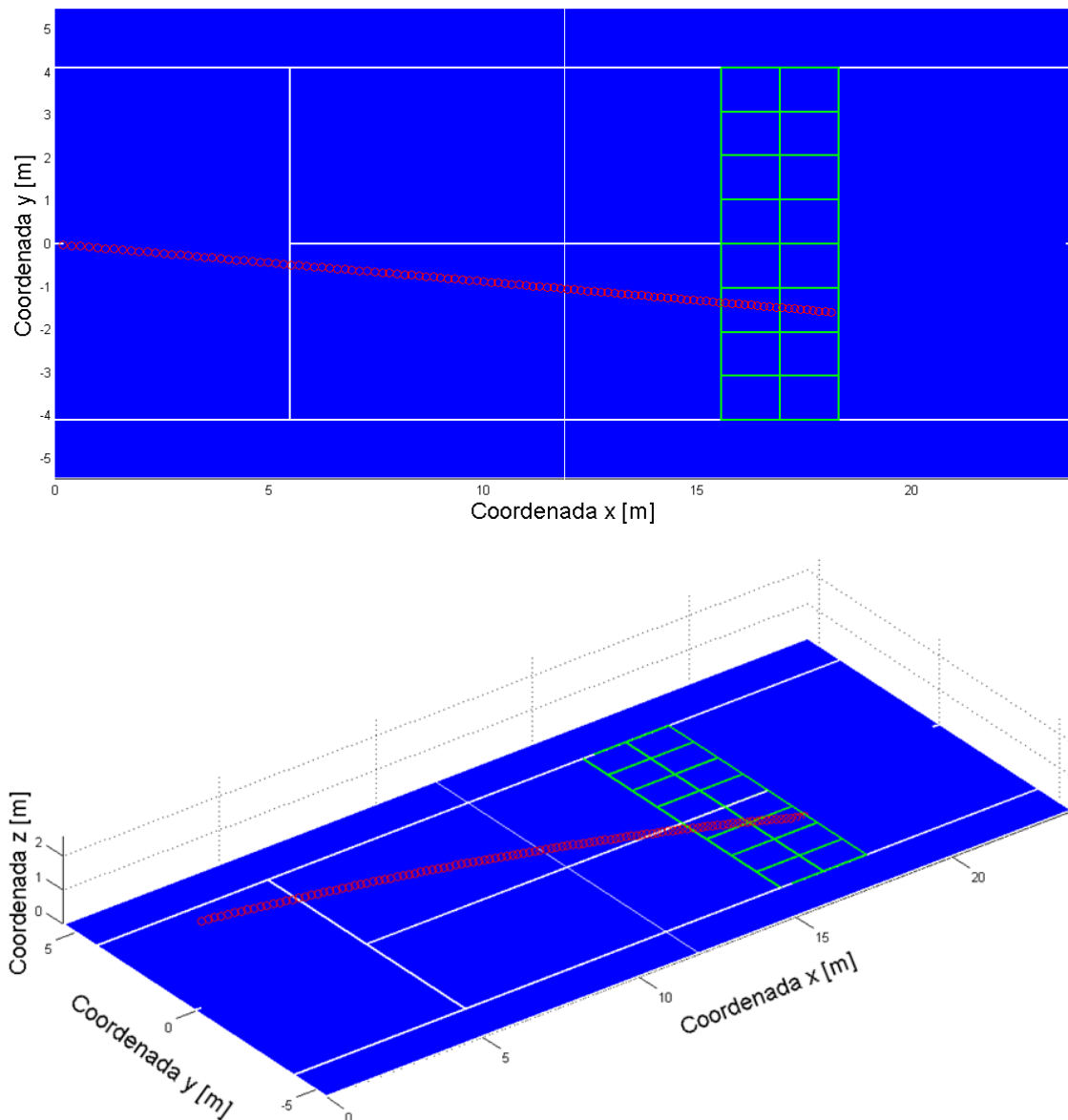


Figura 10.11 Exemple de representació 3D d'un llançament del tipus servei amb *Matlab*.

A la Figura 10.12 es mostra la representació d'un llançament del tipus tir de camp dirigit a la posició C40, amb una velocitat v_0 de 135 km/h (Llançament normal), amb efecte liftat de nivell 2 ($\omega_y = 2000 \text{ rpm}$) i un angle α de 4° .

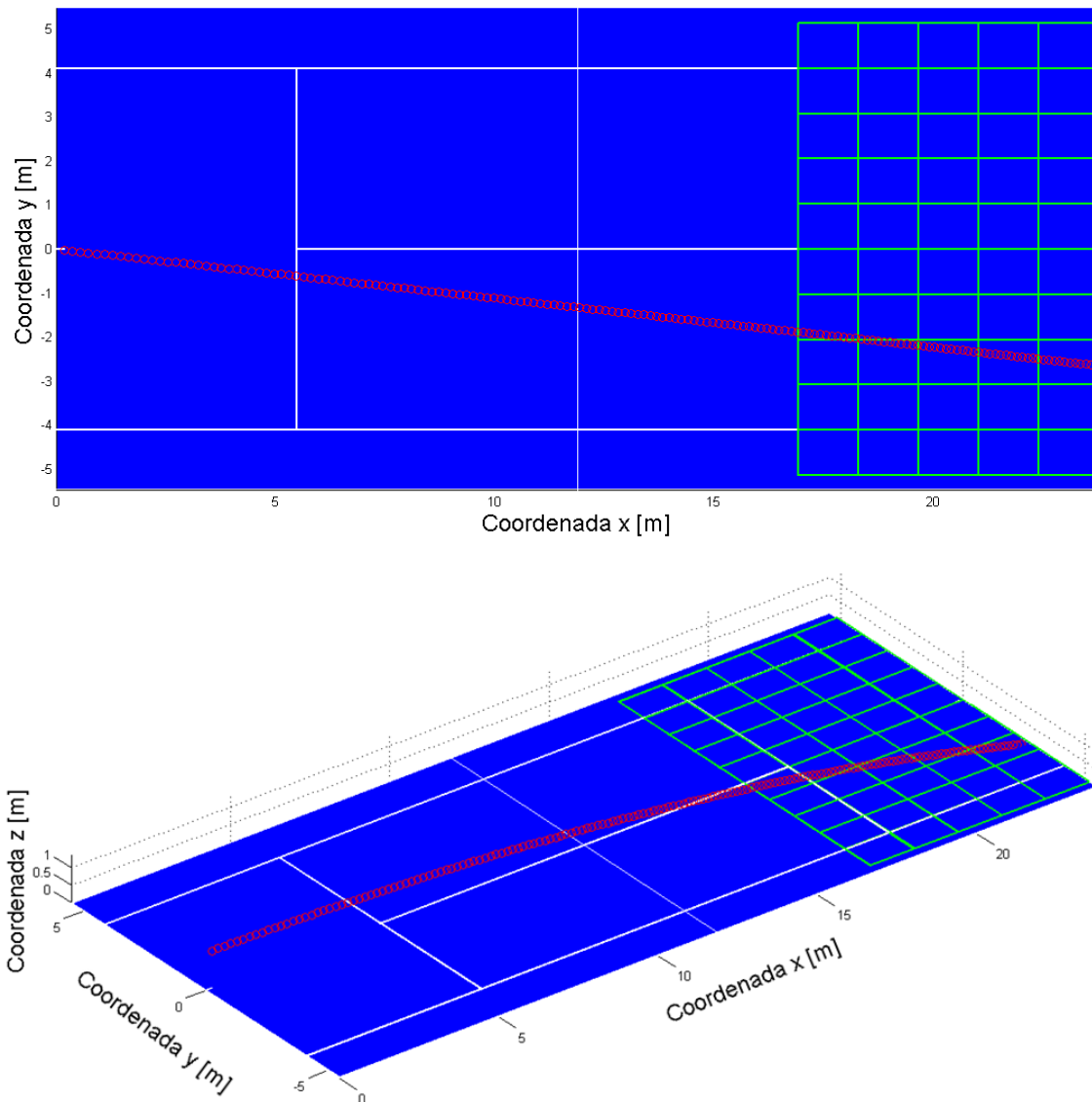


Figura 10.12 Exemple de representació 3D d'un llançament del tipus tir de camp amb *Matlab*.

Obtenció de dades de forma massiva

El codi complet de l'*script* per a la obtenció de dades de forma massiva es troba a l'Annex F. Igual que s'ha fet amb el codi de la representació gràfica, s'explicarà l'estructura d'aquest *script* i el resultat obtingut.

L'*script* es basa en un programa principal, tal i com es veu a la Figura 10.13. Aquest únicament rep com a paràmetre d'*input* la variable `posicio`, ja que la resta de paràmetres s'iteraran.

Primerament es parlarà de la obtenció de dades de llançaments sense efectes i posteriorment es tractarà els casos amb efectes.

Els blocs de variables secundàries i de mallat corresponen a elements de suport pel codi i no s'aprofundeix en l'explicació.

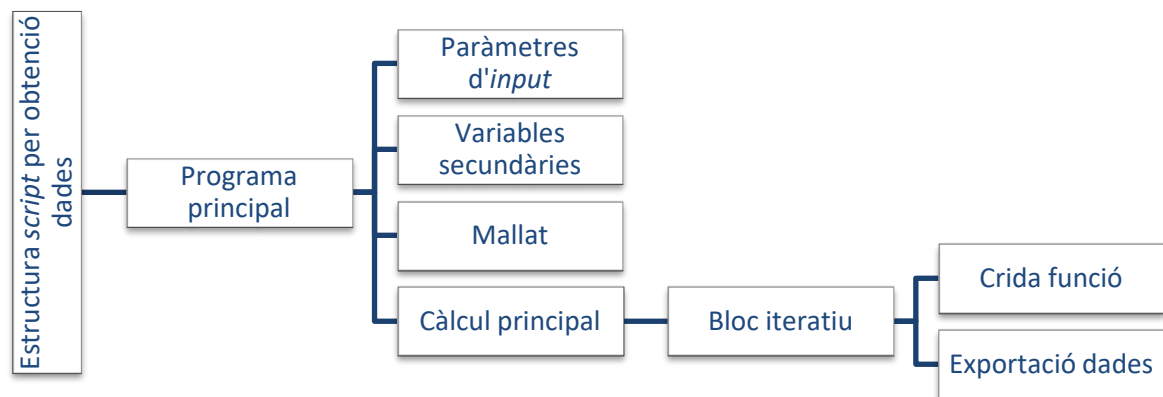


Figura 10.13 Esquema de l'estructura de l'script d'obtenció de dades de forma massiva.

Respecte el bloc de càlcul principal, en aquest es desenvolupa el bloc iteratiu que permet la obtenció de dades de forma massiva. Es contempla poder calcular tots els llançaments que compleixin les condicions de finalització esmentades prèviament (a l'explicació de l'script de representació gràfica) i que caiguin dins de l'element del mallat corresponent a la posició de bot (`posicio`).

Prèviament ja s'ha vist que per a simular el llançament de la pilota es necessita conèixer on es desitja que boti (`posicio`), la velocitat de sortida `v0` i l'angle `alfa`. En aquest cas la `posicio` ve donada com a paràmetre de l'script i es farà una crida a una funció de càlcul on simularà el llançament, aquesta funció tindrà com a paràmetres d'input la velocitat `v0` i l'angle `alfa`.

La funció de càlcul es troba a la Figura F.2 de l'Annex F, el codi s'assimila a l'utilitzat en la representació gràfica del llançament, però s'ha adaptat per tal de tenir altres paràmetres d'input.

Aleshores, la iteració es planteja tal que per a cada velocitat v_0 es recorri tots els angles α establerts en un rang. Els rangs considerats per a la velocitat v_0 i per l'angle α estan indicats a la Taula 10.1.

		Servei	Tir de camp
Velocitat de sortida v_0 (km/h)	v_0	[80; 180]	[40; 160]
Angle α (°)	α	[-10; 10]	[0; 30]

Taula 10.1 Rangs per a les variables v_0 i α .

Aclarir que, segons si el llançament considerat és un servei o un tir de camp, el rang s'ha de canviar manualment en el codi.

De cada crida a la funció, si en la iteració el llançament entra a la regió de l'element havent complert totes les condicions de la simulació, es realitza l'exportació de dades. Aquesta exportació es fa a un document en format .xls per a poder treballar-ho amb *MS Excel*.

En el cas dels llançaments amb efectes, s'ha optat per realitzar una variació a l'*script* i es mostra a la Figura F.3 de l'Annex F. En aquest cas és necessari editar el codi quan s'executi segons l'efecte desitjat, tal que:

- Pel càlcul dels efectes liftat i tallat s'ha d'establir les variables com $\omega_y = \text{efecte}(\text{ef})$ i $\omega_z = 0$.
- Pels efectes lateral positiu i lateral negatiu s'inverteixen els valors tal que $\omega_z = \text{efecte}(\text{ef})$ i $\omega_y = 0$.

De les dues versions del programa principal (amb i sense efectes), s'extreuen les dades indicades a la Taula 10.2.

Codi	Codi de la posició del bot
v_0	Velocitat de sortida v_0
α	Angle α
β	Angle β
x_{bot}	Coordenada x del bot
y_{bot}	Coordenada y del bot
ω_y	Velocitat de rotació ω_y
ω_z	Velocitat de rotació ω_z

Taula 10.2 Dades que s'han exportat dels càlculs amb *Matlab*.

Respecte les dades calculades, s'ha restringit l'increment en els rangs d'iteració per tal de limitar la quantitat de dades:

- Llançaments sense efecte: increments de velocitat v_0 de 1 km/h i d'angle α de 0,5°.
- Llançaments amb efecte: increments de velocitat v_0 de 1 km/h i d'angle α a 1°.

Finalment, es vol aclarir que en el càlcul dels llançaments s'ha considerat l'angle β constant per a cada element de la malla (*posicio*). Aquest fet ha restringit el nombre llançaments simulats, però el programa plantejat és fàcilment adaptable a una variació de l'angle β per a cada element:

- En el bloc iteratiu, es pot afegir una altra estructura iterativa basada en l'angle β .
- Les dades d'angle β màxim i mínim estan calculats i es troben a la Taula D.1 de l'Annex D.
- La funció de càlcul de la simulació del llançament cal adaptar-la per a que β sigui un paràmetre d'*input*.

Aclarir que en el treball, l'angle β considerat per a cada element de la malla (*posicio*) correspon a l'angle definit per les coordenades del seu punt central.

10.4. Disseny del sistema de gestió de dades

L'anomenat sistema de gestió de dades correspon al conjunt de l'*app*, base de dades i el programa del nucli de control, ja que la combinació entre ells permet que els llançaments que el jugador configura es puguin traduir en els paràmetres necessaris per tal de que mecànicament es realitzin.

L'esquema de funcionament bàsic del sistema de gestió de dades és el representat a la Figura 10.14. En aquest es mostra quina relació tenen els components *app*, base de dades i programa del nucli de control.

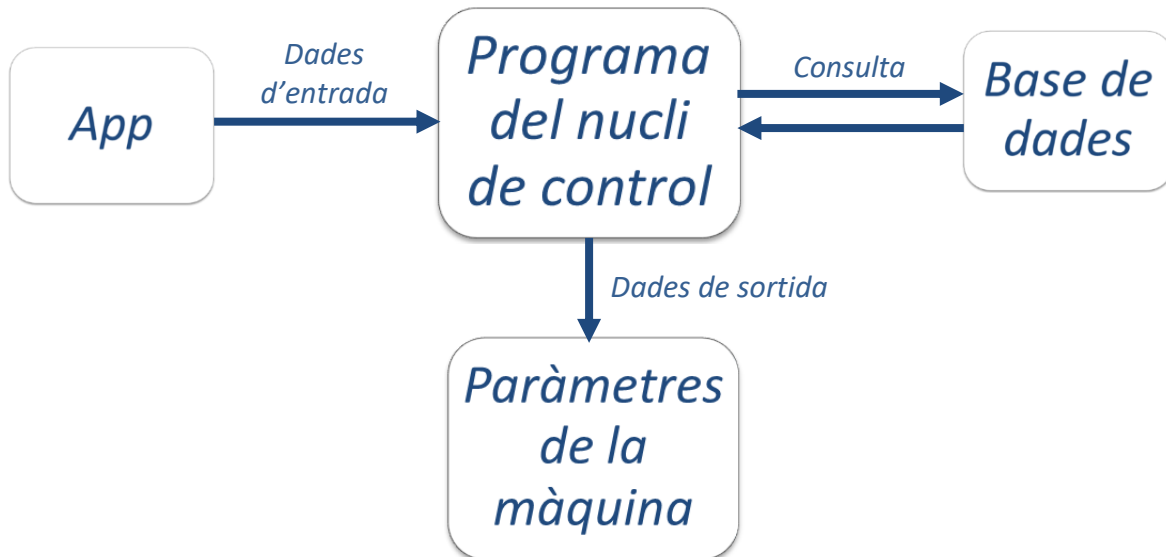


Figura 10.14 Esquema del funcionament del sistema de gestió de dades.

10.4.1. Programa del nucli de control

A continuació per a realitzar l'explicació del programa del nucli de control, encarregat del tractament de dades, es parlarà de dues parts:

- Dades dels llançaments: es parla del tractament donat a les dades obtingudes del càlcul massiu realitzat a l'apartat 10.3.2 Implementació del model i simulació i la creació de la base de dades en *SQLite*.
- Programa en *Python*: es parla de la creació d'un programa en llenguatge *Python* que rep les dades de la *app*, consulta la base de dades i extreu els paràmetres clau per a la màquina.

Dades dels llançaments

De la simulació del llançament realitzada amb el programari *Matlab* a l'apartat 10.3.2 Implementació del model i simulació, s'han obtingut les dades tots els llançaments que la màquina és capaç de fer (amb els criteris ja comentats en el seu càlcul).

Tot i haver limitat el pas pels paràmetres calculats (angles cada 1° o $0,5^\circ$, velocitats cada 1 km/h), la quantitat de dades és d'una mida suficientment gran (Taula 10.3) com perquè pel seu tractament s'hagi considerat treballar amb *SQLite*.

	Serveis	Tirs de camp
Sense spin	3.380	13.456
Amb spin	13.798	46.056
Total	17.178	59.512
	76.690	

Taula 10.3 Nombre de dades obtingudes de llançaments que la màquina és capaç de fer.

El sistema *SQLite* permet realitzar la gestió de bases de dades petites que no requereixen d'un servidor extern. El llenguatge emprat per al seu ús és intuïtiu i permet una fàcil interacció amb el llenguatge *Python* mitjançant la llibreria d'aquest, *sqlite3*.

Per tal de poder crear la base de dades amb els càlculs realitzats al programa *Matlab*, les dades dels càlculs s'han exportat a documents del programa *MS Excel*. Tal i com s'ha vist a [10.3.2 Implementació del model i simulació](#), les dades exportades per a cada possible llançament han estat les indicades a la Taula 10.2.

Alhora, aquestes dades s'han estratificat segons altres conceptes no considerats dins de l'script de *Matlab*. Així, al programa *MS Excel* per a cada llançament, a partir de les dades de la Taula 10.2, se li afegeixen les dades que s'utilitzaran en el programa del nucli de control (Taula 10.4).

Tipus de llançament	Tipus: servei o tir de camp
Nomenclatura genèrica	Classificació segons velocitat
Efecte aplicat	Tipus d'efecte
Nivell efecte	Intensitat de l'efecte

Taula 10.4 Dades dels llançaments pel seu ús amb el programa del nucli de control.

Des del programa *MS Excel* s'han tractat les dades a l'hora d'estudiar la disponibilitat dels llançaments segons la posició. A la Figura 10.15 es resumeix el resultat sobre la disponibilitat dels llançaments segons la posició de manera visual sobre el mallat de cada tipus de llançament.

Recordar que el nivell de dificultat del llançament s'ha establert, tal i com s'ha explicat a l'apartat [8.3 Decisions transversals del disseny](#), segons la velocitat de sortida de la pilota.

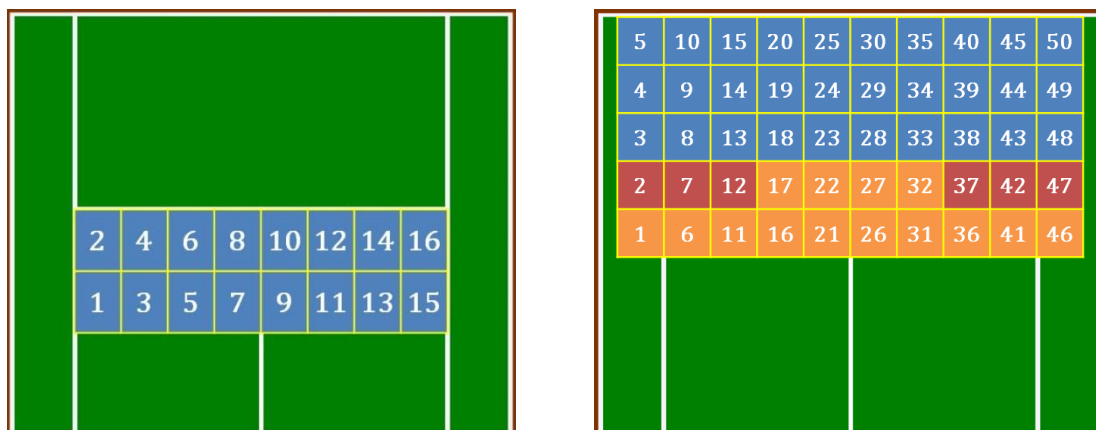


Figura 10.15 Representació de la disponibilitat de llançaments segons la posició.

Pels llançaments del tipus serveis, hi ha una disponibilitat completa de tots els nivells de dificultat establerts:

- Nivell professional – Primer servei
- Nivell professional – Segon servei
- Nivell amateur

En canvi, pels llançaments del tipus tir de camp, la disponibilitat varia segons la posició on es desitja que boti la pilota. A la Figura 10.15 s'ha distingit tres tipus de posicions segons la seva disponibilitat:

- Posicions amb color taronja: nivells de dificultat de llançament normal, flux i junior.
- Posicions amb color vermell: nivells de dificultat de llançament normal i flux.
- Posicions amb color blau: nivells de dificultat de llançament fort, normal i flux.

Mitjançant el programa *MS Excel* s'han exportat les dades dels llançaments a un format *.csv*, amb el qual es poden importar les dades directament a una base de dades de *SQLite*.

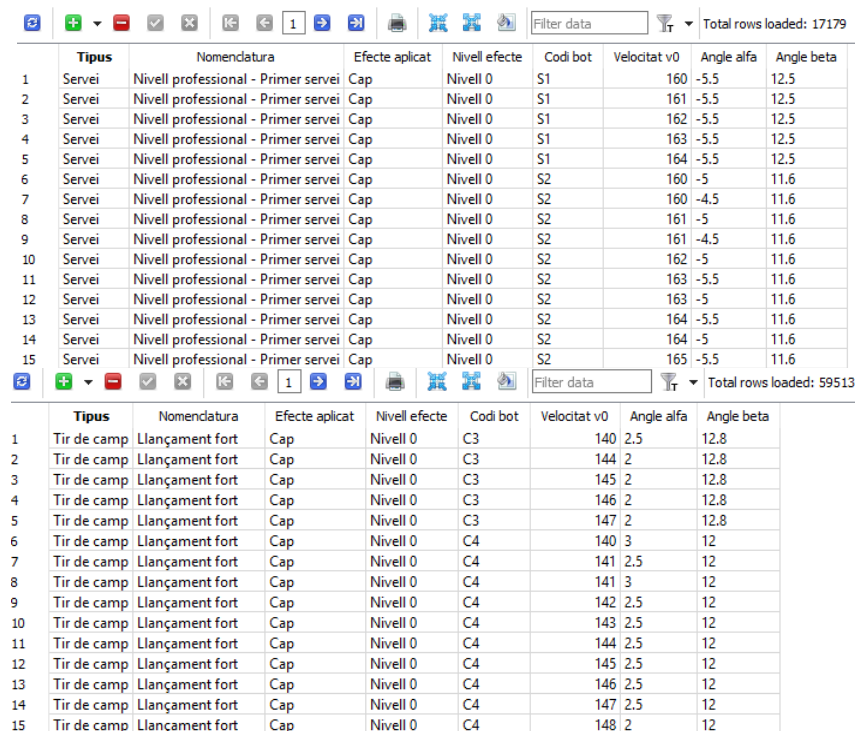
Degut a la simplicitat del tractament de les dades, que consistirà en realitzar una cerca segons un petit nombre de criteris, l'estructura de la base de dades es simplificarà en dues taules. D'aquesta manera no s'emprarà cap tipus de *key* per tal d'indexar taules.

Per tant, la base s'estructurarà en les taules "Serveis" i "Camp", que tal i com indiquen els noms es caracteritzen pel tipus de llançament. Dins d'aquestes taules, s'ha considerat la capçalera indicada a la Taula 10.5.

Tipus	Tipus del llançament: servei o tir de camp
Nomenclatura	Classificació segons velocitat
Efecte aplicat	Tipus d'efecte: cap, liftat, tallat, lateral positiu, lateral negatiu
Nivell efecte	Intensitat de l'efecte: nivell 0, nivell 1 o nivell 2
Codi bot	Codi de la posició del bot
Velocitat v_0	Velocitat de sortida v_0
Angle alfa	Angle α que ha de tenir la màquina
Angle beta	Angle β que ha de tenir la màquina

Taula 10.5 Capçalera de les taules "Serveis" i "Camp" de la base de dades.

Degut al gran nombre de dades que conté la base de dades creada (Taula 10.3), no és possible incloure en aquest treball el total de les dades. Tot i així, a la Figura 10.16 es mostren les primeres 15 files de dades de les taules "Serveis" i "Camp", la visualització de les dades es realitza amb el programari *SQLiteStudio*.



	Tipus	Nomenclatura	Efecte aplicat	Nivell efecte	Codi bot	Velocitat v_0	Angle alfa	Angle beta
1	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S1	160	-5.5	12.5
2	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S1	161	-5.5	12.5
3	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S1	162	-5.5	12.5
4	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S1	163	-5.5	12.5
5	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S1	164	-5.5	12.5
6	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	160	-5	11.6
7	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	160	-4.5	11.6
8	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	161	-5	11.6
9	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	161	-4.5	11.6
10	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	162	-5	11.6
11	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	163	-5.5	11.6
12	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	163	-5	11.6
13	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	164	-5.5	11.6
14	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	164	-5	11.6
15	Servei	Nivell professional - Primer servei	Cap	Nivell 0	S2	165	-5.5	11.6

	Tipus	Nomenclatura	Efecte aplicat	Nivell efecte	Codi bot	Velocitat v_0	Angle alfa	Angle beta
1	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C3	140	2.5	12.8
2	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C3	144	2	12.8
3	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C3	145	2	12.8
4	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C3	146	2	12.8
5	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C3	147	2	12.8
6	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	140	3	12
7	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	141	2.5	12
8	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	141	3	12
9	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	142	2.5	12
10	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	143	2.5	12
11	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	144	2.5	12
12	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	145	2.5	12
13	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	146	2.5	12
14	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	147	2.5	12
15	Tir de camp	Llançament fort	Cap	Nivell 0	C4	148	2	12

Figura 10.16 Primeres files de les taules "Serveis" i "Camp" de la base de dades.

Programa en *Python* del nucli de control

L'objectiu del programa creat amb *Python* (versió 3.6.0) és el de mostrar en què consisteix el sistema de gestió de dades de la màquina. Dins del projecte del disseny de la màquina resultaria en un primer prototip en el que començar a treballar.

Aclarir que pel programa es treballa amb les dades de selecció fetes per l'usuari que provindrien de l'*app*. Concretament, es treballarà com a exemple amb dos arxius .csv que corresponen al tipus de dades que s'exportarien de l'*app* programada en la plataforma *MIT App Inventor* (Massachusetts Institute of Technology, 2015)([Annex G](#)).

A la Figura 10.17 es mostra l'esquema de l'estructura del programa, els blocs principals corresponen als indicats en el codi del programa, el qual es troba a l'[Annex H](#) comentat.

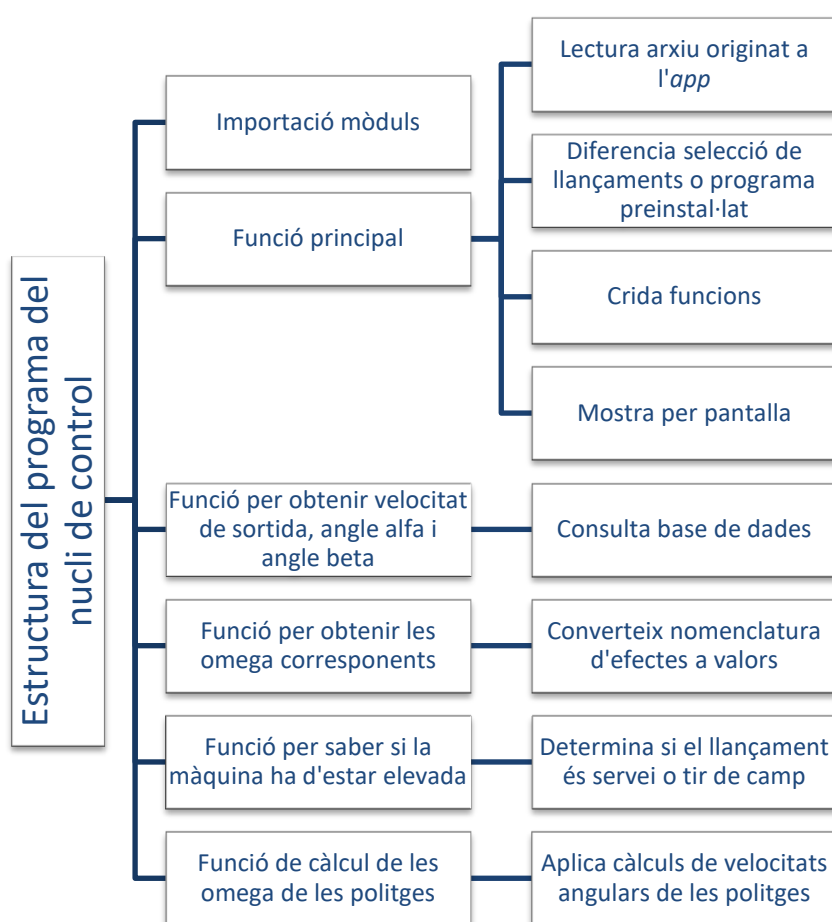


Figura 10.17 Esquema de l'estructura del programa del nucli de control en llenguatge *Python*.

Per facilitar l'explicació, es treballarà amb dos exemples d'exportació de dades de la *app*:

- La Figura 10.18 mostra el contingut de l'arxiu que correspon a la selecció de llançaments. En ordre d'aparició, per cada fila, el contingut és:
 - Veritat o fals de si és un llançament a practicar
 - Tipus de llançament
 - Posició del bot, no codificat
 - Nivell de dificultat
 - Efecte
 - Intensitat de l'efecte
- La Figura 10.19 mostra el contingut corresponent a la selecció de programes. En ordre d'aparició, el contingut és:
 - Dificultat del programa
 - Intensitat del programa

```
false;Servei;1;Nivell professional - Primer servei;Cap;Nivell 0
false;Servei;6;Nivell professional - Segon servei;Tallat;Nivell 1
false;Tir de camp;21;Llançament normal;Liftat;Nivell 1
false;Tir de camp;19;Llançament normal;Lateral positiu;Nivell 2
true;Servei;11;Nivell amateur;Cap;Nivell 0
true;Tir de camp;30;Llançament normal;Lateral negatiu;Nivell 2
```

Figura 10.18 Contingut de l'arxiu d'exemple d'una selecció de llançaments feta per l'usuari.

```
Nivell junior;Programa intens
```

Figura 10.19 Contingut de l'arxiu d'exemple d'una selecció de programa feta per l'usuari.

Tal i com s'observa a la Figura 10.17, el programa es basa en la funció principal (`main()`). Dins d'aquesta es realitza la lectura dels arxius `.csv` corresponents, fa la crida de la resta de funcions del programa i mostra per pantalla els resultats obtinguts.

Les dades obtingudes s'ha optat per mostrar-les per pantalla degut a que en el treball no s'ha assolit el disseny del sistema de control (veure apartat [4.2 Abast](#)). Aleshores, a la funció principal caldria implementar el codi corresponent per tal d'exportar les dades cap al sistema de control de la mecatrònica.

Respecte els exemples indicats a la Figura 10.18 i la Figura 10.19, el que el programa mostra per pantalla és l'indicat a la Figura 10.20 i la Figura 10.21, respectivament.

```

1 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 160 km/h, angle alfa de -5.5°, angle beta de 12.5°.
La màquina ha d'estar elevada? Sí
Politja superior: 444.44, politja esquerra: 444.44, politja dreta: 444.44
En rpms és, respectivament: 4244.13, 4244.13 i 4244.13

2 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 131 km/h, angle alfa de -4.0°, angle beta de 5.0°.
La màquina ha d'estar elevada? Sí
Politja superior: 329.33, politja esquerra: 381.17, politja dreta: 381.17
En rpms és, respectivament: 3144.88, 3639.88 i 3639.88

3 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 107 km/h, angle alfa de 4.0°, angle beta de 1.7°.
La màquina ha d'estar elevada? No
Politja superior: 331.78, politja esquerra: 279.94, politja dreta: 279.94
En rpms és, respectivament: 3168.26, 2673.26 i 2673.26

4 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 109 km/h, angle alfa de 6.0°, angle beta de 4.1°.
La màquina ha d'estar elevada? No
Politja superior: 302.78, politja esquerra: 362.63, politja dreta: 242.92
En rpms és, respectivament: 2891.31, 3462.89 i 2319.74

5 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 90 km/h, angle alfa de 0.0°, angle beta de -5.4°.
La màquina ha d'estar elevada? Sí
Politja superior: 250.00, politja esquerra: 250.00, politja dreta: 250.00
En rpms és, respectivament: 2387.32, 2387.32 i 2387.32
El llançament és per practicar, es repeteix 10 cops

6 - Número del llançament dins de la tanda
Llançament de velocitat 129 km/h, angle alfa de 4.0°, angle beta de -1.3°.
La màquina ha d'estar elevada? No
Politja superior: 358.33, politja esquerra: 298.48, politja dreta: 418.19
En rpms és, respectivament: 3421.83, 2850.25 i 3993.41
El llançament és per practicar, es repeteix 10 cops

```

Figura 10.20 Text mostrat per pantalla al executar el programa del nucli de control amb les dades de la Figura 10.18.

```

1 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 74 km/h, angle alfa: 28.5°, angle beta: 6.8°, elevació: False.
Politja superior: 205.56, politja esquerra: 205.56, politja dreta: 205.56
En rpms és, respectivament: 1962.91, 1962.91 i 1962.91

2 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 59 km/h, angle alfa: 26.0°, angle beta: -1.6°, elevació: False.
Politja superior: 198.45, politja esquerra: 146.61, politja dreta: 146.61
En rpms és, respectivament: 1895.02, 1400.02 i 1400.02

3 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 93 km/h, angle alfa: 8.0°, angle beta: 7.2°, elevació: False.
Politja superior: 258.33, politja esquerra: 258.33, politja dreta: 258.33
En rpms és, respectivament: 2466.90, 2466.90 i 2466.90

4 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 88 km/h, angle alfa: 10.0°, angle beta: -4.3°, elevació: False.
Politja superior: 244.44, politja esquerra: 244.44, politja dreta: 244.44
En rpms és, respectivament: 2334.27, 2334.27 i 2334.27

5 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 74 km/h, angle alfa: 13.5°, angle beta: -10.7°, elevació: False.
Politja superior: 205.56, politja esquerra: 205.56, politja dreta: 205.56
En rpms és, respectivament: 1962.91, 1962.91 i 1962.91

6 - Número del llançament dins del programa

```

```

Velocitat: 59 km/h, angle alfa: 22.0°, angle beta: 1.7°, elevació: False.
Politja superior: 163.89, politja esquerra: 163.89, politja dreta: 163.89
En rpms és, respectivament: 1565.02, 1565.02 i 1565.02

7 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 93 km/h, angle alfa: 7.0°, angle beta: 7.7°, elevació: False.
Politja superior: 292.89, politja esquerra: 241.05, politja dreta: 241.05
En rpms és, respectivament: 2796.90, 2301.90 i 2301.90

8 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 59 km/h, angle alfa: 26.0°, angle beta: -1.6°, elevació: False.
Politja superior: 163.89, politja esquerra: 163.89, politja dreta: 163.89
En rpms és, respectivament: 1565.02, 1565.02 i 1565.02

9 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 67 km/h, angle alfa: 27.0°, angle beta: 4.3°, elevació: False.
Politja superior: 186.11, politja esquerra: 186.11, politja dreta: 186.11
En rpms és, respectivament: 1777.23, 1777.23 i 1777.23

10 - Número del llançament dins del programa
Velocitat: 59 km/h, angle alfa: 25.5°, angle beta: -4.6°, elevació: False.
Politja superior: 163.89, politja esquerra: 163.89, politja dreta: 163.89
En rpms és, respectivament: 1565.02, 1565.02 i 1565.02

```

Figura 10.21 Text mostrat per pantalla al executar el programa del nucli de control amb les dades de la Figura 10.19.

10.4.2. Disseny de l'app

L'app serà el mètode principal de control de la màquina, tal que el jugador podrà realitzar la configuració dels llançaments o selecció de programes a través del seu *smartphone*.

Com a condició del disseny, l'app ha de ser capaç d'exportar un document de text llegible mitjançant *Python* on s'hi especifiquin els criteris suficients com per identificar els llançaments escollits. Aquest document correspon a les dades d'entrada del programa del nucli de control (Figura 10.14).

Plataforma de creació de l'app

S'ha procedit a realitzar un prototip d'app per tal de mostrar el funcionament que aquesta hauria de tenir.

Amb aquesta intenció, s'ha procedit a realitzar la programació de l'app amb la plataforma *MIT App Inventor* (Massachusetts Institute of Technology, 2015), aquesta plataforma permet centrar-se en el funcionament desitjat. L'elecció d'aquesta plataforma es justifica amb el fet que en aquesta fase del prototip no resultaria raonable

invertir en una *app* completa de gran qualitat. La codi realitzat junt amb el disseny visual en aquesta plataforma es troben a l'*Annex G*.

Degut a una exportació errònia de l'*app* que no permetia la seva correcta execució al telèfon mòbil, no s'ha pogut acabar el disseny de l'*app* amb la plataforma *MIT App Inventor*. Finalment, el disseny visual que es mostra en la memòria és el realitzat en una altra plataforma: *Marvel* (Marvel Prototyping Ltd, 2017).

S'ha treballat amb el programa *Adobe Illustrator* junt amb la plataforma *Marvel*, amb l'objectiu de proposar una estètica per a l'aplicació i mostrar el flux de pantalles que l'usuari veurà quan utilitzi l'*app*.

App creada

A la Figura 10.22 es mostra l'estructura ideada per a l'*app* de la màquina llançadora de pilotes de tennis.

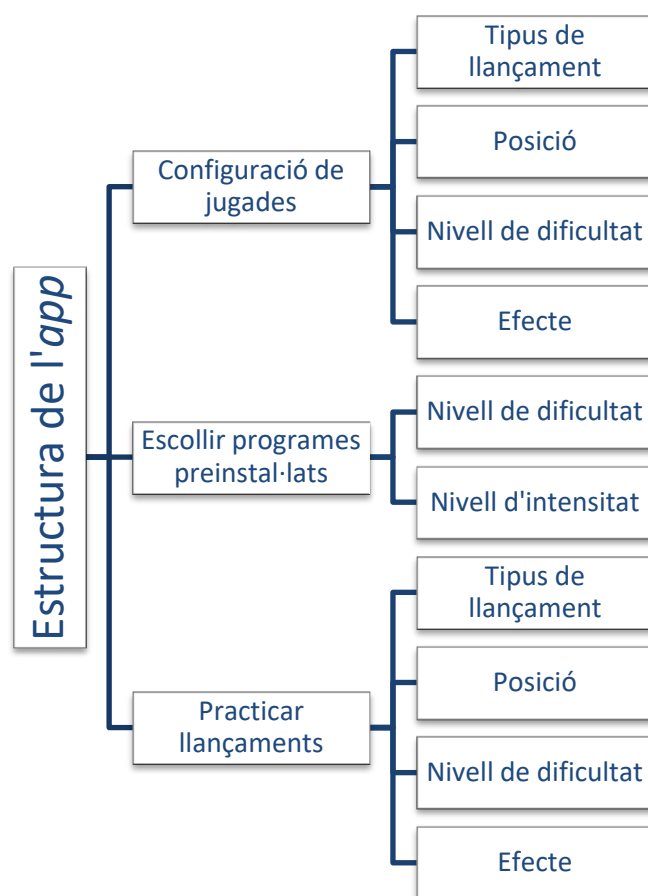


Figura 10.22 Esquema de l'estructura de l'*app*.

El prototip creat amb la plataforma *Marvel* es pot consultar únicament en línia mitjançant el codi QR de la Figura 10.23 o bé l'enllaç <https://marvelapp.com/2i15bgb>. A la Figura 10.25 es mostra l'esquema de flux entre les pantalles de l'*app* dissenyada, correspon a l'esquema complet que s'anirà analitzant per parts.



Figura 10.23 Codi QR per consultar el prototip d'*app* dissenyada mitjançant la plataforma *Marvel* (Marvel Prototyping Ltd, 2017).

L'*app* s'inicia amb una pantalla de presentació que continua amb la pantalla de sincronització (Figura 10.24). Al prémer el botó de "Iniciar Sincronització" s'iniciaria la associació amb la màquina, tal que així pugui comunicar-se i enviar dades de l'*app* a la màquina.

No es mostra a la Figura 10.24, però al prémer el botó apareix una notificació indicant que es tracta d'un prototip d'*app*. Posteriorment, s'arriba al menú principal on s'ofereixen les opcions:

- Configurar Jugades
- Escollir Programa
- Practicar Llançament

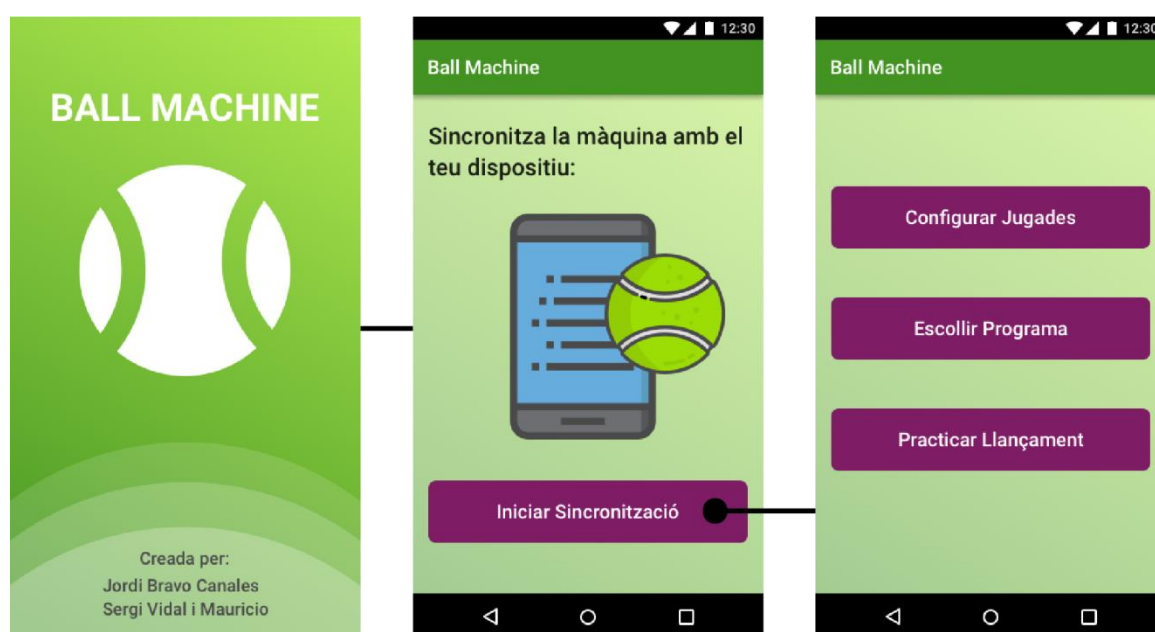


Figura 10.24 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'*app*, corresponent a la pantalla inicial, de sincronització i el menú principal.

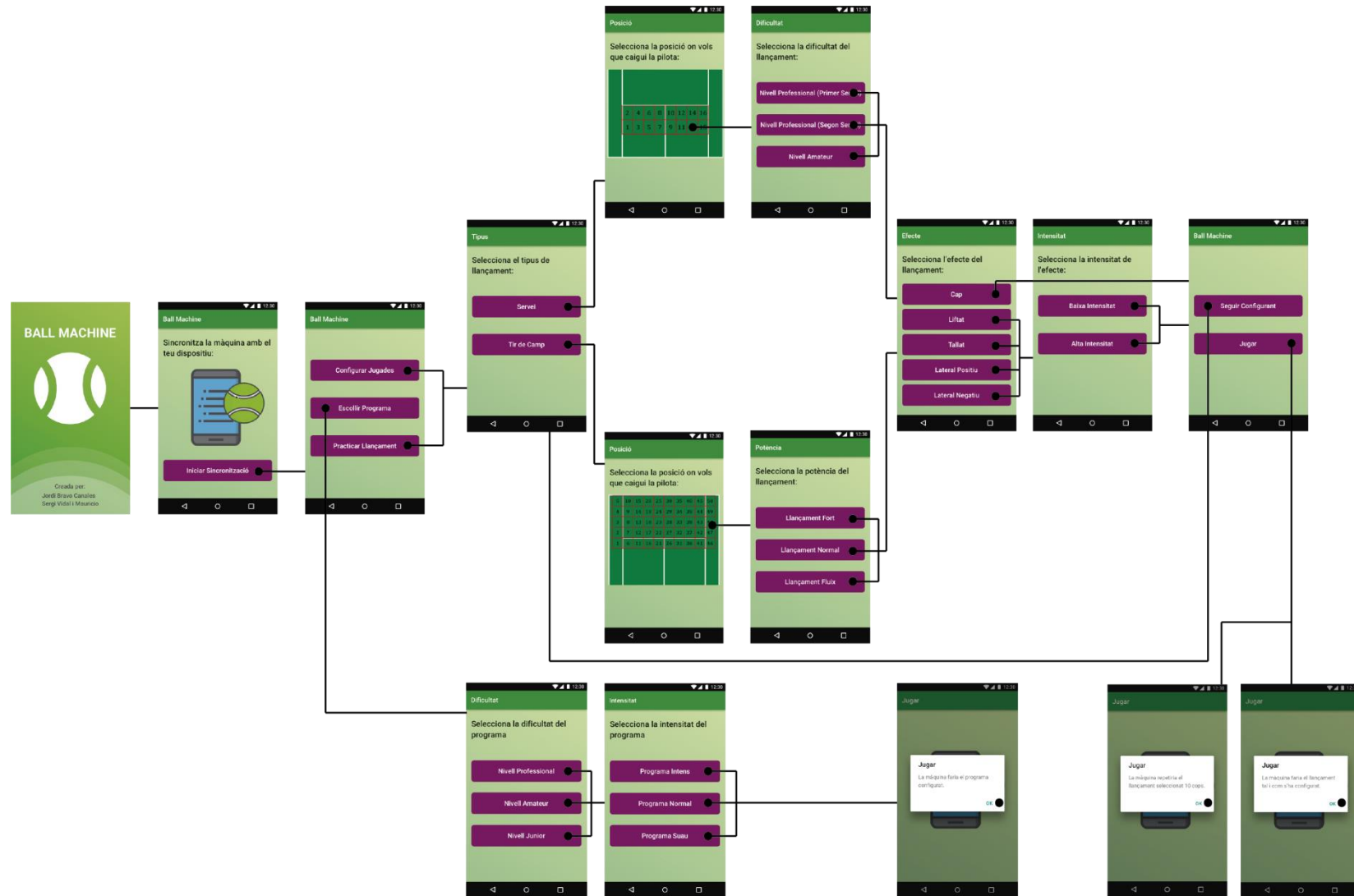


Figura 10.25 Diagrama de flux entre pantalles de l'app dissenyada.

Les opcions “Configurar Jugades” i “Practicar Llançament” van a parar a la configuració del llançament, tot i que en el primer cas per donar la opció de configurar diversos llançaments i en el segon cas només un.

A la Figura 10.26 s'indica el pas al prémer les dues opcions mencionades cap a la pantalla on apareix el menú per a seleccionar el tipus de llançament.



Figura 10.26 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent al menú de selecció del tipus de llançament.

Per a la selecció de “Servei” a la Figura 10.26, s’arriba a la Figura 10.27 on es procedeix a la selecció de la posició on es desitja que boti la pilota i la dificultat del llançament. Al ser un llançament del tipus servei, a la Figura 10.27 hi apareix el mallat corresponent.

A l’hora d’introduir la posició desitjada, a diferència de com s’ha realitzat a la programació amb *MIT App Inventor* (Figura G.4 de l’*Annex G*), en aquest cas es permet a l’usuari prémer sobre el mallat la posició desitjada, aquesta quedarà marcada de color groc i aleshores passarà a la següent pantalla.

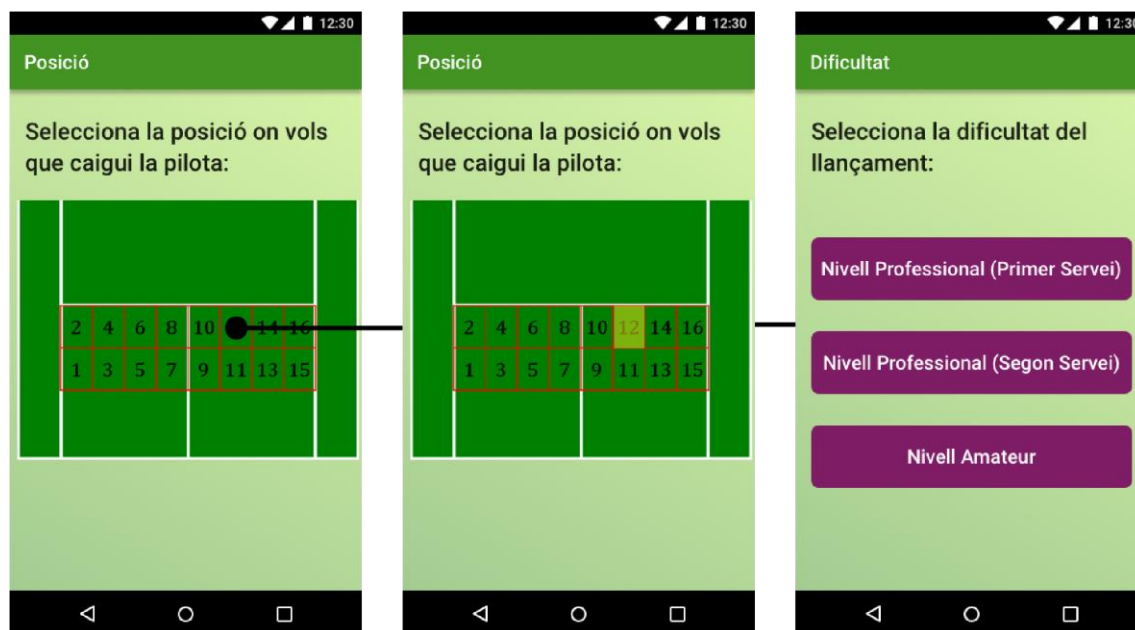


Figura 10.27 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent a la selecció de posició i nivell de dificultat pels llançaments del tipus servei.

Anàlogament, si a la Figura 10.26 s'ha seleccionat la opció de "Tir de camp" s'arriba a la Figura 10.28. En aquest cas s'ha tingut en compte la disponibilitat dels nivells de dificultat segons la zona del mallat que es veurà a la Figura 10.15.

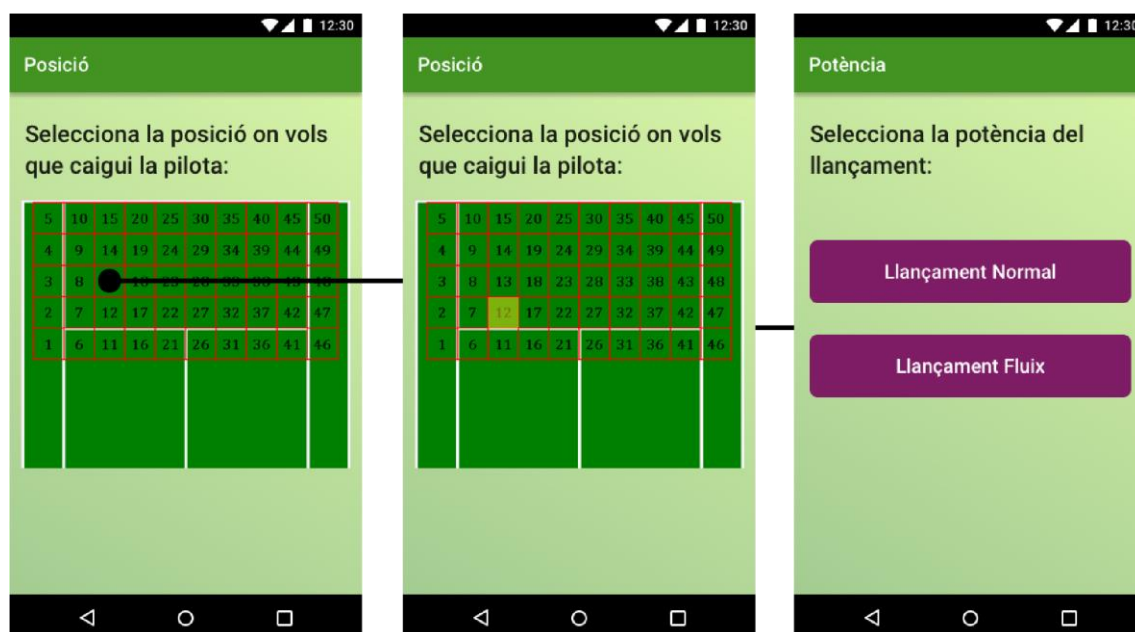


Figura 10.28 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent a la selecció de posició i nivell de potència pels llançaments del tipus tir de camp.

Tal i com s'havia vist a l'esquema de l'estructura de l'app (Figura 10.22), el següent pas correspon la selecció de l'efecte del llançament i de la intensitat d'aquest. A la Figura

10.29 es mostra com pels efectes de liftat, tallat, lateral positiu i lateral negatiu es passa a l'elecció de la intensitat de l'efecte, que s'estableix en baixa o alta intensitat.



Figura 10.29 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent al menú de selecció d'efecte i el nivell d'intensitat d'aquest.

Per a la opció del menú principal (Figura 10.26) de “Configurar Jugades”, després d’haver seleccionat l’efecte es passa a un menú on s’ofereixen dues opcions:

- “Seguir configurant”: es retorna al menú de selecció del tipus de llançament (Figura 10.26).
- “Jugar”: es passa a la pantalla indicada a la Figura 10.30.

Es diferencien dues pantalles posteriors un cop s’ha seleccionat “Jugar”, si es prové de la opció “Configurar Jugades” s’anuncia que la màquina farà el llançament configurat (correspon a l’últim llançament configurat de la tanda, però s’executa tota la tanda).

En canvi, si es prové de la opció “Practicar Llançament” s’anuncia que el llançament configurat es repetirà 10 cops.

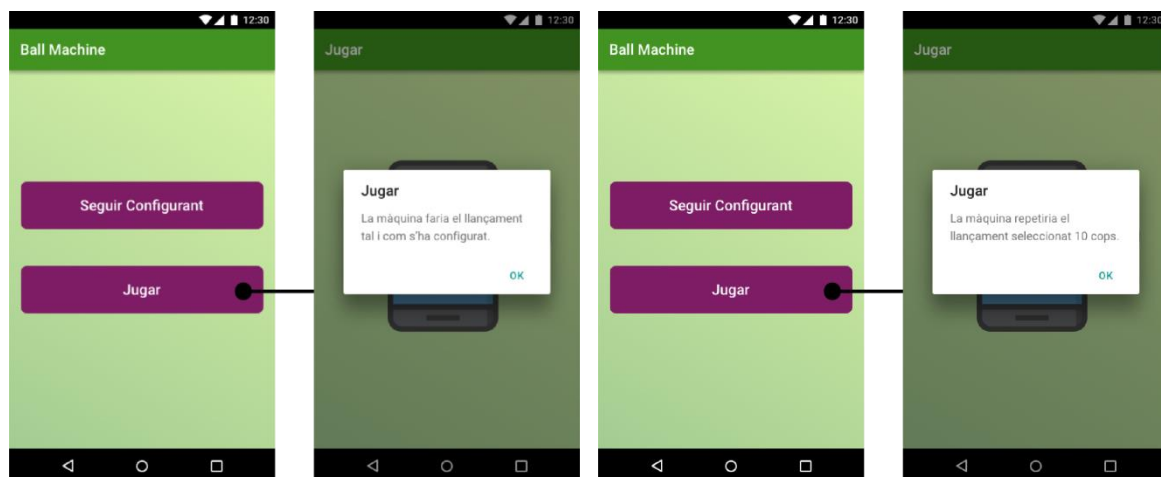


Figura 10.30 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent al menú per seguir configurant o jugar.

Per a la opció del menú principal (Figura 10.24) de “Escollir programa”, tal i com es veu al diagrama de flux de pantalles (Figura 10.25), té un camí diferent al de la configuració d'un llançament.

Havent seleccionat aquesta opció al menú principal, s'arriba a la pantalla de selecció de la dificultat del programa, d'aquí es passa a escollir la intensitat del programa. A la Figura 10.31 es mostren aquestes pantalles i com, un cop s'ha seleccionat la intensitat desitjada, a l'usuari se li informa sobre que la màquina faria el programa configurat.



Figura 10.31 Part del diagrama de flux entre pantalles de l'app, corresponent a la configuració del programa preinstal·lat.

11. Planificació

Activitat	Nom activitat	Període		Setm. 13/02	Setm. 20/02	Setm. 27/02	Setm. 06/03	Setm. 13/03	Setm. 20/03	Setm. 27/03	Setm. 03/04	Setm. 10/04	Setm. 17/04	Setm. 24/04	Setm. 01/05	Setm. 08/05	Setm. 15/05	Setm. 22/05	Setm. 29/05	Setm. 05/06	Setm. 12/06	Setm. 19/06
		Setm. inicial	Setm. final	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
1	Estat de l'art	I	IV																			
2	Planificació del disseny	I	VI																			
3	Especificació del disseny	IV	VIII																			
4	Estudi dinàmic	IV	IX																			
5	Simulació amb <i>Matlab</i>	VII	XV																			
6	Disseny mecànic amb <i>SolidWorks</i>	VII	XVIII																			
7	Disseny d' <i>app</i>	XIV	XVII																			
8	Programació d' <i>app</i>	XIV	XVII																			
9	Programació en <i>Python</i>	XIII	XVII																			
10	Tractament de dades amb <i>SQLite</i>	XIII	XVI																			
11	Pressupost	XVII	XVIII																			
12	Impacte ambiental	XVII	XVIII																			
13	Redacció memòria	XII	XIX																			

12. Pressupost

Per tal de fer un pressupost orientatiu sobre la feina feta durant el treball es fa un desglossament de les hores emprades en diferents conceptes. Destacar que el preu per hora de cada concepte varia.

Concepte	Nombre d'hores	Preu (€/h)	Cost
Estat de l'art	24	50	1.200,00 €
Plantejament disseny	36	70	2.520,00 €
Estudi dinàmic	66	70	4.620,00 €
Disseny CAD	180	30	5.400,00 €
Disseny sistema mecànic	124	60	7.440,00 €
Programació entorn <i>Matlab</i>	72	70	5.040,00 €
Execució programa <i>Matlab</i>	10	20	200,00 €
Programació <i>Python</i>	36	30	1.080,00 €
Disseny <i>app</i>	24	40	960,00 €
Programació <i>app</i>	32	20	640,00 €
Tutoria	16,5	90	1.485,00 €
SUBTOTAL 1	620,5		30.585,00 €

Taula 12.1 Costos associats a les hores emprades en el treball.

Respecte el material emprat, cal considerar les llicències del programari emprat. Pel cas de la llicència de *SolidWorks Standard*, la taxa de canvi emprada és de $0,88841 \frac{\text{€}}{\text{\$}}$.

Llicències	Preus	Període	Cost
<i>SolidWorks Standard</i>	3995 \$	-	3.549,20 €
<i>Matlab R2017a</i>	2000 €	-	2.000 €
<i>Adobe Illustrator CC</i>	36,29 €/mes	4 mesos	145,16 €
<i>Microsoft Office 365</i>	10 €/mes	4 mesos	40,00 €
<i>SQLite Studio</i>	Lliure	-	-
<i>Python 3.6.0</i>	Lliure	-	-
SUBTOTAL 2			5.734,36 €

Taula 12.2 Costos associats al programari emprat en aquest treball.

Finalment, a la Taula 12.3 es mostra que el cost pel treball realitzat és de 34.459,36 €.

Concepte	Cost
SUBTOTAL 1	30.585,00 €
SUBTOTAL 2	5.734,36 €
TOTAL	36.319,36 €

Taula 12.3 Cost total del treball.

13. Impacte ambiental

Per tal de complir amb els actuals estàndards respecte desenvolupament sostenible, en el projecte del disseny del prototip de màquina llançadora de pilotes de tennis s'han de tenir en compte els criteris mediambientals. Serà necessari al final del projecte haver realitzat un estudi d'impacte ambiental, tal que inclogui, entre d'altres, aquests punts principals:

- Descripció del projecte a avaluar, amb una estimació dels tipus i quantitats de residus generats i emissions de partícules o energia.
- Exposició de les principals alternatives estudiades, incloent la no realització del projecte, i justificació de la solució adoptada.
- Avaluació dels efectes previsibles sobre factors sensibles durant les fases d'execució, explotació i final de la vida útil.
- Estudi de mesures per prevenir, corregir i compensar els efectes adversos sobre el medi ambient.

14. Conclusions

14.1. Conclusions industrials

Es considera que amb el treball, s'ha après sobre el disseny d'un producte enfocat a un mercat concret. S'han pogut aplicar diversos coneixements treballats durant els estudis del Grau (Expressió Gràfica, Resistència de Materials, Informàtica, Mecànica de Fluids, Mecànica, Gestió de Projectes, etc.) i veure com aplicar la versatilitat característica de l'enginyer industrial.

Un cop finalitzat aquest treball, es realitza la comparativa respecte els valors de la Taula 7.1 amb els aconseguits amb el disseny de màquina assolit.

Variable	Unitat	Nivell	Rang	Valor aconseguit
Velocitat màxima de sortida	$\frac{km}{h}$	180	[160; 180]	180
Capacitat d'emmagatzemar pilotes	<i>pilotes</i>	225	± 25	≈ 240
Quantitat d'oscil·lacions automatitzades	<i>nº oscil·lacions</i>	2	<i>Cap</i>	2
Cost de la màquina al mercat	$\frac{€}{màquina}$	7.750	250	<i>Indeterminat</i>
Nivells de dificultat disponibles	<i>nº nivells</i>	4	[2; 4]	4
Tipus d'efectes disponibles	<i>nº d'efectes</i>	4	<i>Cap</i>	4
Tensió elèctrica	<i>V</i>	230	<i>Cap</i>	<i>Indeterminat</i>
Intensitat sonora	<i>dB</i>	50	(0; 50]	<i>Indeterminat</i>
Distància de seguretat	<i>m</i>	5	<i>Cap</i>	<i>Indeterminat</i>
Quantitat de plataformes per realitzar el control	<i>nº plataformes</i>	2	<i>Cap</i>	1

Taula 14.1 Taula de comparació de l'especificació amb els valors aconseguits amb la realització del treball.

Com es pot veure a la Taula 14.1, s'han assolit la majoria d'especificacions definides a l'apartat 7 Especificació.

- S'ha aconseguit que la velocitat màxima de sortida tingui el valor necessari per tal de realitzar un llançament de tipus servei equivalent al que duria a terme un jugador professional de tennis.
- S'ha augmentat la capacitat en nombre de pilotes respecte el disseny d'inspiració (apartat 6.1.4 Disseny d'inspiració).
- S'ha assolit automatitzar dues oscil·lacions, fet que era un repte perquè el disseny d'inspiració només en tenia una d'automatitzada.
- S'han arribat a definir quatre nivells de dificultat, cosa que permet que la màquina sigui més versàtil i adaptable al nivell de cada usuari.
- S'han simulat llançaments amb quatre tipus d'efectes diferents (liftat, tallat, lateral positiu i lateral negatiu) a fi que es puguin practicar llançaments amb aquests efectes.

14.2. Conclusions personals

S'ha vist com dissenyar una màquina llançadora de pilotes de tennis des de dues vessants, la del disseny del sistema de dades de control i la del disseny mecànic.

Pel que fa a la part del disseny del sistema de dades de control, per tal de crear l'entorn de control on es puguin obtenir els paràmetres de la màquina per tal de realitzar un llançament concret, s'ha hagut de treballar entre diferents plataformes (*Matlab*, *Python* i *SQLite*). Ha estat tot un repte fer la combinació de dades entre diferents entorns per tal d'obtenir un resultat desitjat i poder optimitzar els codis de programació emprats per tal que tinguessin menys cost computacional.

Per altra banda, el principal repte que tenia la part de disseny mecànic ha sigut que durant els estudis de Grau no s'ha vist aquest aspecte de l'enginyeria com a tal. Gràcies a aquest projecte s'ha treballat amb peces reals i ha permès entendre el funcionament dels components implementats en el disseny de la llançadora. A més, s'han discutit i argumentat l'ús de tots els components amb el director del projecte, que ha aportat el seu coneixement en aquest camp de l'enginyeria, cosa que ha sigut valorada com una experiència extremadament enriquidora.

15. Estudis futurs

S'ha mencionat que el treball assoleix gran part del disseny preliminar del projecte d'enginyeria que correspon el disseny del prototip de la màquina llançadora de pilotes. A continuació es mencionen els principals punts no han pogut ser assolits en el treball o que no s'han detallat amb la precisió requerida.

1. La base s'ha reproduït a partir del disseny d'inspiració. Aquesta es veu afectada per la cursa de l'actuador lineal, per tant en una anàlisi posterior s'haurà de modificar el disseny d'aquesta. A més, s'ha d'implementar un mecanisme de plegament de la màquina per tal que aquesta sigui més transportable dins els complexos esportius, ja que aquests tenen portes d'una alçada aproximada de 2 m i la màquina els supera.
2. Diferents elements de caràcter elèctric o electrònic (electrònica de potència, centralització del control, alimentació elèctrica, cables elèctrics i panell de control) han de ser dissenyats ja que no s'han abordat en el treball. S'ha de tenir en compte que el seu disseny podrà afectar a la resta de components ja dissenyats, per aquest motiu seria raonable treballar en paral·lel amb la finalització del disseny d'elements de la màquina.
3. El sistema d'elevació està format per un motor acoblat a un actuador lineal. Per trobar el motor adient s'hauria de realitzar un estudi inercial respecte l'eix del motor. Per altra banda, l'actuador lineal té una cursa lleugerament inferior a la desitjada. Això és degut a que una major alçada d'aquest faria que el mecanisme de plegament hagués de ser més complex. Es planteja la possibilitat d'haver de canviar d'actuador respecte el que ja ha estat seleccionat, juntament amb l'estudi d'un mecanisme de plegament.
4. Optimització del disseny dels xassissos treballats mitjançant els pertinents càlculs d'esforços, estudis de selecció de material i anàlisi de viabilitat de fabricació.
5. El sistema de selecció de pilotes consta d'un motor que cal dimensionar d'acord amb la càrrega amb la que treballarà. A part, també s'ha reproduït

aquest sistema del disseny d'inspiració. S'hauria d'avaluar si hi ha algun disseny més òptim per a dur a terme aquesta funció.

6. El programa del nucli de control ha estat creat com a prototip, en un llenguatge segurament no adient per a l'aplicació, que cal optimitzar. A més, l'*app* dissenyada també s'ha creat com a prototip sobre el que treballar. Farà falta avaluar totes les necessitats de l'usuari i que el sistema de gestió de dades de la màquina les satisfà.

16. Agraïments

Es considera oportú dedicar un capítol al reconeixement del suport rebut durant la realització del treball.

Primerament, els autors desitgen agrair les directrius, indicacions i explicacions donades pel director del treball, Emilio Angulo Navarro. Ha aportat una visió d'enginyer experimentat molt valorada pels autors i que ha permès donar un salt qualitatiu al disseny realitzat.

També, els autors volen mencionar l'ajuda aportada per un company de promoció, Ignasi Ferrés Bobes. Ha ajudat en alguns punts de la implementació en *Matlab* aportant els seus coneixements en aquest entorn, que han permès una estructuració de la simulació més àgil i òptima.

Igualment, els autors volen agrair l'ajuda aportada per en Raúl Salguero Lorente en l'àmbit del disseny de l'*app*. Ha aportat la visió d'un *UX/UI Designer* en l'*app* dissenyada i ha suggerit idees clau en el desenvolupament d'aquesta.

Finalment, els autors volen reconèixer i agrair el suport rebut per les seves famílies. Han estat un punt clau durant els estudis de Grau i en la realització d'aquest treball.

17. Referències

17.1. Referències bibliogràfiques

Brody, H. T., Cross, R. & Crawford, L., 2002. Ball Trajectories - Factors Influencing the Flight of the Ball. A: Urra, ed. The Physics and Technology of Tennis. Solana Beach: Racquet Tech Pub, pp. 367-374.

Clark, T. S., Kennedy, W. S. & Piziali, R. L., 1975. Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System. Estats Units, Patent núm. 641081.

Cross, R. & Lindsey, C., 2013. Tennis Ball Trajectories - Aerodynamic Drag and Lift in Tennis Shots. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/1Np2f5i>
[Últim accés: 11 Març 2017].

de Wolski, S., 2013. MATLAB Answers - 'I am trying to draw a tennis court with a green court and white lines'. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2sojWTV>
[Últim accés: 27 Març 2017].

Designatronics Inc., 2017. A 1C 6MYK20R080 | Stock Drive Products/Sterling Instrument. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2rroepD>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

Designatronics Inc., 2017. KSWG3-R1J18 | Stock Drive Products/Sterling Instrument. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2sKIMgv>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

Dunkermotoren GmbH., 2017. BG 65X75, 42V | Brushless DC Motors. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2tzDQaX>
[Últim accés: 11 Abril 2017].

Dunkermotoren GmbH., 2017. GR 63X25, 12V | Brushed DC Motors. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2tfUgG2>
[Últim accés: 26 Maig 2017].

Grupo Condesa, 2014. Tubo estructural - Catálogo completo. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2rJpPGr>
[Últim accés: 26 Maig 2017].

HepcoMotion, 2017. PSD - Unidad Con Perfil Accionado Por Husillo. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2snrnbj>
[Últim accés: 14 Abril 2017].

Hispanox, S.A., 2017. Catálogo general Hispanox. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2tf9F9O>

[Últim accés: 22 Maig 2017].

Holloway, D. P., Payne, W. H. & Peeler, D. H., 1972. Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls. Estats Units, Patent núm. 236039.

igus, 2017. Cojinetes: iglidur M250. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sCigWn>

[Últim accés: 22 Maig 2017].

International Tennis Federation, 2017. 2017 Rules of Tennis. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rdKIJO>

[Último acceso: 19 Març 2017].

Marvel Prototyping Ltd, 2017. Marvel. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/1eGQAUe>

[Últim accés: 21 Maig 2017].

Massachusetts Institute of Technology, 2015. MIT App Inventor. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2cVK8Od>

[Últim accés: 15 Maig 2017].

Match Mate Tennis, 2017. Precision Tennis System. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2r3frde>

[Último acceso: 19 Març 2017].

Metaltek, 2016. The Grand Slam. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sZEKKF>

[Últim accés: 20 Març 2017].

Oncourt Offcourt, Ltd., 2017. Ace Attack Serving Machine - YouTube. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rJyAQN>

[Últim accés: 5 Març 2017].

Oncourt Offcourt, Ltd., 2017. Ace Attack Tennis Ball Machine. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2r9VTHZ>

[Últim accés: 21 Febrer 2017].

SKF, 2017. 51105 | Thrust ball bearings, single direction. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sn0rlm>

[Últim accés: 23 Maig 2017].

SKF, 2017. 7205 BEGBY | Angular contact ball bearings, single row. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sdkzyu>

[Últim accés: 23 Maig 2017].

Souza, A., 2015. Caster Wheel 3.1/2" - GrabCAD. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rl9x0D>

[Últim accés: 22 Abril 2017].

SpinfireSport.com, 2017. Spinfire PRO 2 Ball Machine. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rKJgPP>
[Últim accés: 20 Març 2017].

SportMaster, 2017. Tennis Court Color Combinations | SportMaster Court Designer. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rLR9Hk>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

Sports Attack, LLC, 2017. Ace Attack Tennis Pitching Machine. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rdHANK>
[Últim accés: 22 Febrer 2017].

Sports Attack, LLC, 2017. Hack Attack Baseball Pitching Machine. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2tClqX3>
[Últim accés: 14 Abril 2017].

Tennis Industry Magazine, 2015. 2015 Guide to Ball Machines. Tennis Industry, Juliol, 43(7), pp. 30-33.

Tennis Warehouse, 2017. Tennis Tutor ProLite Ball Machine Battery Powered Basic. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rZFw14>
[Últim accés: 20 Març 2017].

TraceParts S.A., 2017. 62101B : Tornillo de seguridad cabeza hexagonal totalmente roscado inox A2 - DIN 933 - ISO 4017. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rJacyN>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

TraceParts S.A., 2017. 62512B : Arandela Elástica "Grower" - Inox - DIN 127 B. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rss6qi>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

TraceParts S.A., 2017. 62601B : Tuerca Hexagonal - Inox A2 - DIN 934. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sew4Wk>
[Últim accés: 11 Juny 2017].

TraceParts S.A., 2017. A Seeger-Rings for shafts DIN 471. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2sF9uHC>
[Últim accés: 22 Maig 2017].

TraceParts S.A., 2017. Arandela de sujeción exterior. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rEgd4A>
[Últim accés: 26 Maig 2017].

TraceParts S.A., 2017. Ruedas para usos institucionales - Freno de doble acción en rueda y soporte - Soporte A + Rueda PU. [En línia]

Disponible a: <http://bit.ly/2rsHXoJ>
[Últim accés: 10 Juny 2017].

Ucefer, S.L., 2017. Perforaciones para roscar. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2tzLPow>
[Últim accés: 23 Maig 2017].

Wójcicki, K., Puciłowski, K. & Kulesza, Z., 2011. Mathematical Analysis for a New Tennis Ball Launcher. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2r0BBNf>
[Últim accés: 19 Març 2017].

17.2. Bibliografia complementària

Caraballo, D., 2013. *Python y SQLite3 como base de datos*. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2sDpwBl>
[Últim accés: 12 Maig 2017]

Dunkermotoren, GmbH., 2017. *Overview BG 65X75*. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2rE7r6P>
[Últim accés: 11 Abril 2017]

Dunkermotoren, GmbH., 2017. *Overview GR 63X25*. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2rsPTpQ>
[Últim accés: 26 Maig 2017]

Python Software Foundation, 2017. *The Python Standard Library – Python 3.6.2rc1*. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/1OXdaKw>
[Últim accés: 14 Maig 2017]

Raschka, S., 2014. *A thorough guide to SQLite database operations in Python*. [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/1fF5Z6z>
[Últim accés: 12 Maig 2017]

Ruedas Alex, S.L.U., 2014. Rueda A-PU 2-1216 (Ficha Técnica). [En línia]
Disponible a: <http://bit.ly/2sGnm4F>
[Últim accés: 10 Juny 2017]

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'un prototip d'una màquina llançadora de
pilotes de tennis

ANNEXOS

Autors:

Jordi Bravo Canales
Sergi Vidal i Mauricio

Director:

Emilio Angulo Navarro

Convocatòria:

Juny 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Annex A. Característiques de les llançadores de pilotes de tennis en el mercat

Models	Preu (€)	Pes (kg)	Autonomia	V. mín (km/h)	V. màx (km/h)	Efectes	Capacitat	Jugades Programades	Jugades Programables	Control	Freqüència	Oscil·lacions	Oscil·lació vertical	Nivells	Extres
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Battery</i>	2.341,35	22	3 - 4 h	16	130	Liftat i tallat (10 nivells)	200	2 line en 3 amplituds	No	Control remot	2 - 15 s	Horitzontal i vertical en doble amplitud	Electrònica	Tots	-
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Super Battery</i>	2.418,79	22	4 - 6 h	16	130	Liftat i tallat (10 nivells)	200	2 line en 3 amplituds	No	Control remot	2 - 15 s	Horitzontal i vertical en doble amplitud	Electrònica	Tots	-
<i>Spinfire Tennis Pro 2 Electric</i>	2.418,79	17	AC	16	130	Liftat i tallat (10 nivells)	200	2 line en 3 amplituds	No	Control remot	2 - 15 s	Horitzontal i vertical en doble amplitud	Electrònica	Tots	-
<i>Spinshot Lite</i>	699,38	-	Fins a 6 h / AC	-	50	Liftat lleugerament	50	-	No	Manual	2 - 10 s	-	Manual	-	-
<i>Spinshot Pro</i>	1.474,99	19	2 - 3 h / AC	30	110	Liftat (diversos nivells), tallat i pla	110	-	No	Control remot	2 - 10 s	Horitzontal i vertical	Electrònica	-	-
<i>Tutor Prolite Bateria</i>	1.197,90	13	2 - 3 h	15	95	No	125	-	No	Manual	2 - 15 s	Vertical	Manual	Iniciació/mig	-
<i>Twist Bateria</i>	258,94	-	4 - 5 h (6 piles)	5	10	No	30	Abast del tir entre 3 i 5,5 m	No	-	5 s	-	-	Iniciació	-
<i>Twist Elèctrica</i>	258,94	-	AC	5	10	No	30	Abast del tir entre 3 i 5,5 m	No	-	5 s	-	-	Iniciació	-
<i>Lobster Elite 1</i>	1.802,90	20	4 - 6 h	30	130	Liftat i tallat	150	-	No	Control remot	2 - 10 s	Horitzontal	-	Tots	-
<i>Lobster Elite 2</i>	2.093,90	20	4 - 8 h	15	130	Liftat i tallat	150	-	No	Control remot	2 - 12 s	Horitzontal i vertical	Electrònica (0-60°)	Tots	-
<i>Lobster Elite 3</i>	2.335,30	20	4 - 8 h	15	130	Liftat i tallat	150	-	No	Control remot (2 funcions)	2 - 12 s	Horitzontal i vertical (variació 15° en altura)	Electrònica (0-60°)	Tots	-

<i>Lobster Elite IV Grandslam</i>	2.480,50	20	4 - 6 h	32	130	Liftat i tallat (diversos nivells)	150	-	No	Control remot (15 opcions)	2 - 12 s	Horitzontal, vertical, aleatori i 2 line	Electrònica (0-60°)	Tots	Panell de control tàtil
<i>Lobster Elite V Grandslam</i>	2.900,00	20	4 - 6 h	48	130	Liftat i tallat (diversos nivells)	150	6 jugades amb 6 boles cada una	6 tirs (7 zones horitzontals disponibles)	Control remot (15 opcions)	2 - 12 s	Horitzontal, vertical, aleatori i 2 line en 3 amplituds	Electrònica (0-50°)	Tots	Panell de control tàtil
<i>Lobster Elite V EDL Grandslam</i>	2.964,50	20	4 - 6 h	48	130	Liftat i tallat (diversos nivells)	150	6 jugades predissenyades	6 jugades, 6 boles cada una (18 zones)	Control remot (15 opcions) / iPhone	2 - 12 s	Horitzontal, vertical, aleatori i 2 line en 3 amplituds	Electrònica (0-50°)	Tots	Panell de control tàtil
<i>Lobster Liberty</i>	1.511,29	17	2 h	30	130	Liftat i tallat	150	-	No	Manual	2 - 10 s	Horitzontal	Manual (0-50°)	Iniciació/mig	-
<i>Lobster Elite Freedom</i>	786,27	16	2 - 4 h	30	105	No	150	-	No	Manual	2 - 10 s	Horitzontal aleatòria	Manual (0-50°)	-	-
<i>Lobster Elite Phenom</i>	2.951,10	45	AC	55	135	Liftat i tallat	250	6 jugades predissenyades	-	Control remot	2 - 9 s	Horitzontal, vertical, aleatori i 2 line en 3 amplituds	Electrònica (0-50°)	Tots	-
<i>Lobster Elite Phenom 2</i>	3.369,07	45	AC	55	135	Liftat i tallat	250	12 jugades predissenyades	12 jugades, 6 boles cada una (18 zones)	Control remot	2 - 9 s	Horitzontal, vertical, aleatori i 2 line en 3 amplituds	Electrònica (0-50°)	Tots	-
<i>Ace Attack</i>	8.468,79	70	AC	30	180	Liftat, tallat, pla i angulació post-bot	220	3 boles, 4 boles i aleatòries	-	-	1 - 10 s	Horitzontal 2 line i 3 line i aleatòria	-	Avançat/Pro	Simula serveis
<i>The Grand Slam</i>	8.189,32	-	AC	-	190	Liftat, tallat i pla	300	-	7 tirs (7 zones disponibles), aleatòries	Control remot (2 funcions) / iPhone	-	Horitzontal i aleatòria	Electrònica	Avançat/Pro	Simula serveis

Taula A.1 Característiques de les màquines llançadores de pilotes de tennis.

La taxa de canvi emprada en la taula de característiques de les màquines llançadores en el mercat és de $0,94 \frac{\text{€}}{\text{\$}}$.

Annex B. Patents de màquines llançadores de pilotes de tennis

United States Patent [119]

Holloway et al.

[11] **3,777,732**

[45] **Dec. 11, 1973**

[54] **DEVICE HAVING COACTING WHEELS FOR PROJECTING TENNIS BALLS**

[75] Inventors: **Donald P. Holloway; William H. Payne; Donald H. Peeler**, all of Raleigh, N.C.

[73] Assignee: **Metaitek, Inc.**, Raleigh, N.C.

[22] Filed: **Mar. 20, 1972**

[21] Appl. No.: **236,039**

[52] U.S. Cl.: **124/1, 124/30 R, 124/50, 124/51**

[51] Int. Cl.: **F41b 3/04**

[58] Field of Search: **124/1, 51 A, 30 R, 124/49, 29 A, 50, 32; 254/DIG. 2; 273/26 D**

[56] **References Cited**

UNITED STATES PATENTS

3,604,409	9/1971	Doeg	273/26 D
3,399,660	9/1968	Swartout	124/50 X
3,089,476	5/1963	Wolverton	124/51 A X
1,989,452	1/1935	Joy	124/32 X

3,606,252 9/1971 Dorough 254/DIG. 2

3,640,263 2/1972 Rhodes 124/30 R

2,716,973 9/1955 Desi 124/1

Primary Examiner—Richard C. Pinkham
Assistant Examiner—William R. Browne
Attorney—B. B. Olive

[57] **ABSTRACT**

A ball throwing machine ejects tennis balls in regular sequence and at a controlled velocity to simulate tennis service from an opponent during practice sessions. The machine is adapted to intermittently vary the vertical and horizontal angles of ball ejection thereby providing game-like situations. An anti ball jamming device is located in the base of a ball hopper. The machine has structure for permitting rotation of the subframe about a vertical axis to vary the horizontal angle of discharge of a projectile. As an alternate method for varying the horizontal angle of discharge of a projectile the subframe may be oscillated about a vertical axis.

4 Claims, 27 Drawing Figures

Figura B.1 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 1.

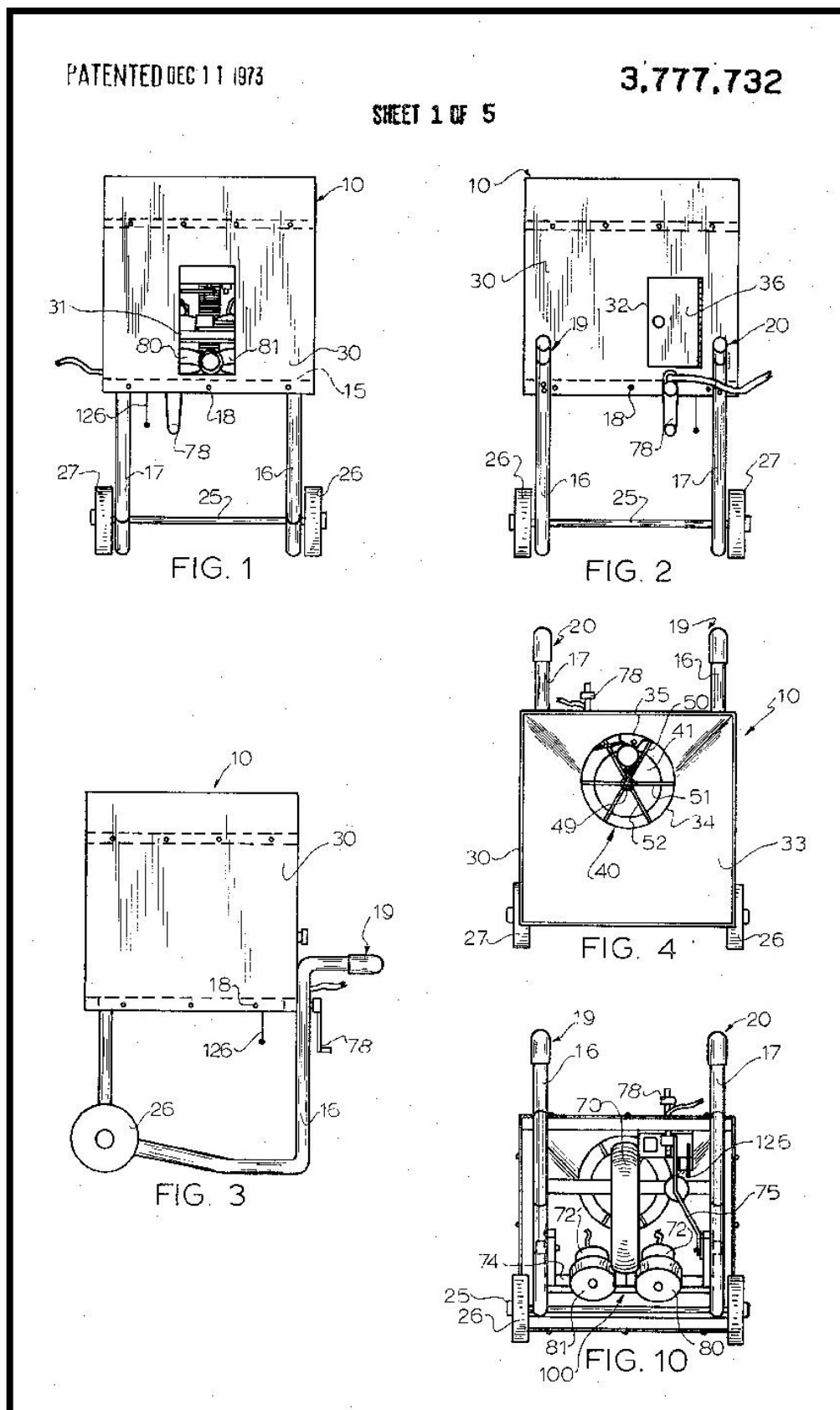


Figura B.2 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 2.

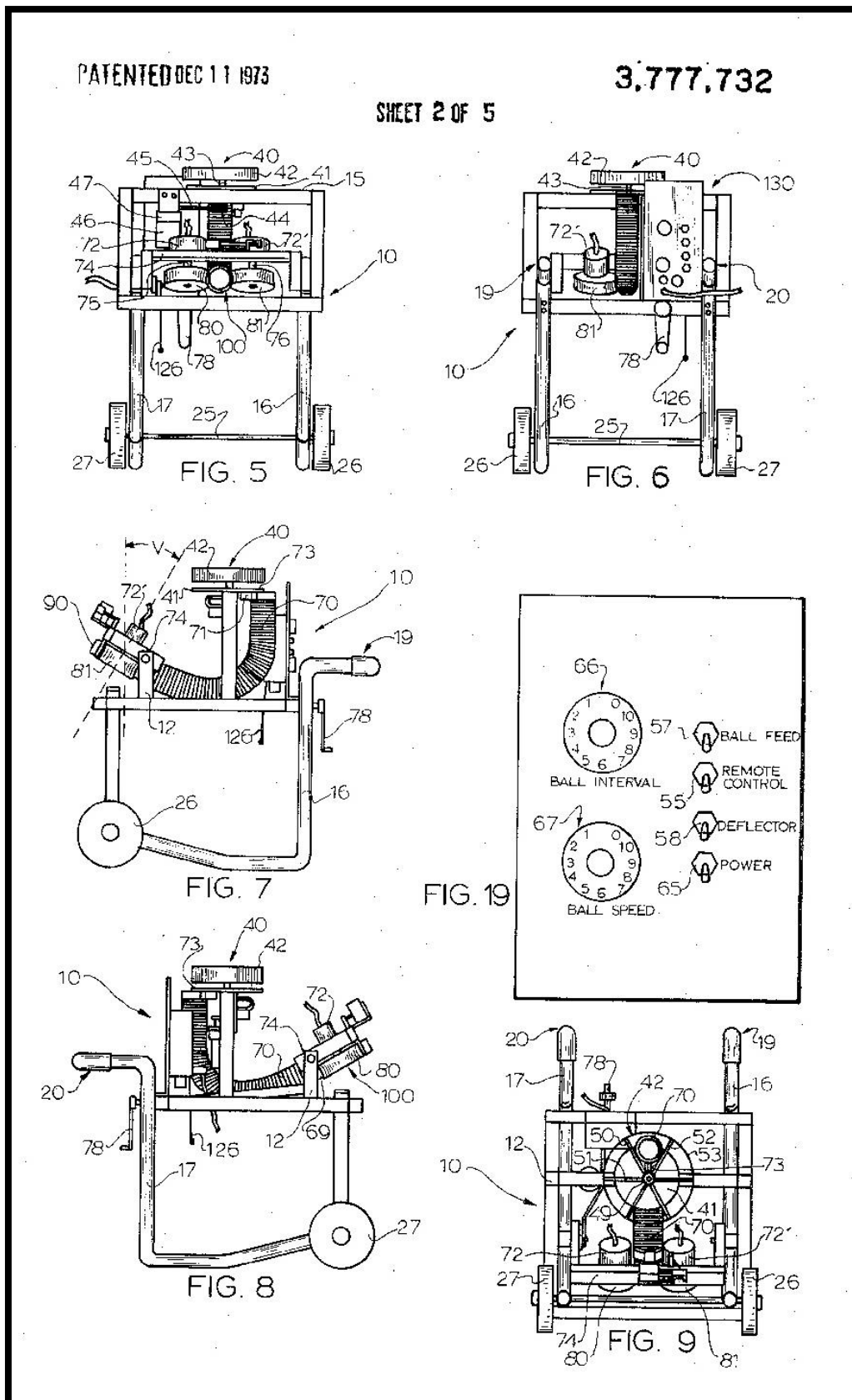


Figura B.3 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 3.

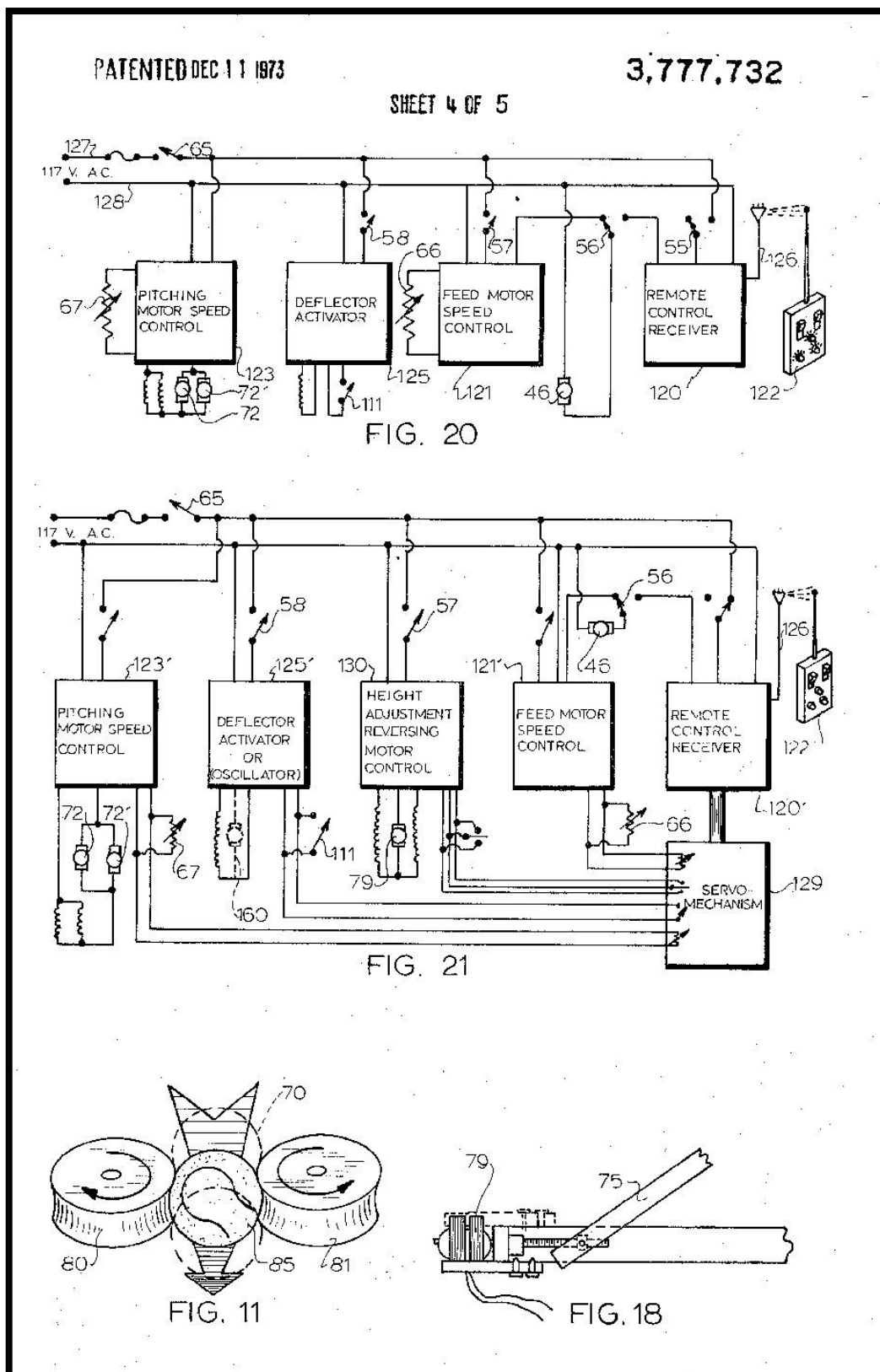


Figura B.4 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 4.

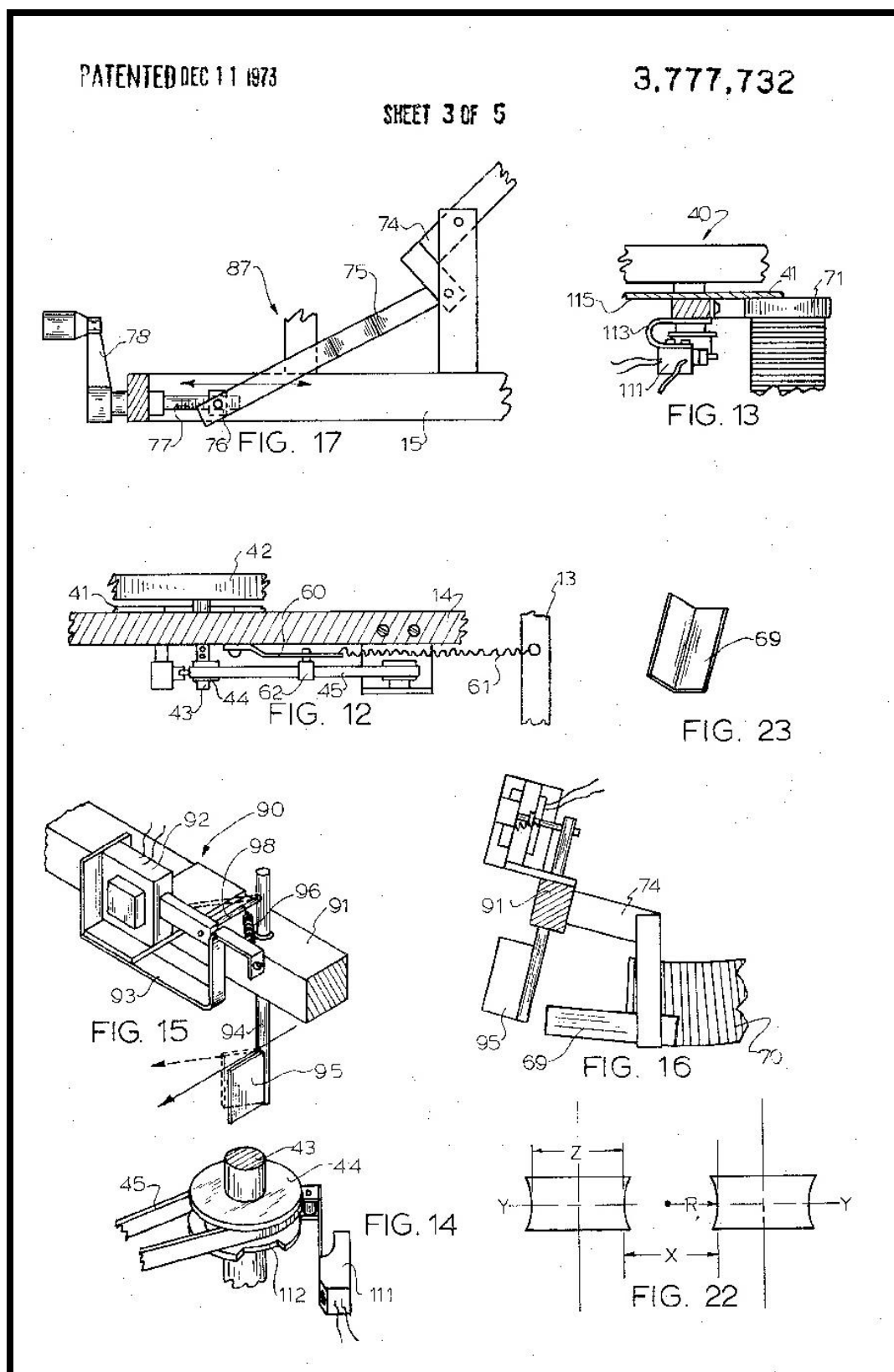


Figura B.5 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 5.

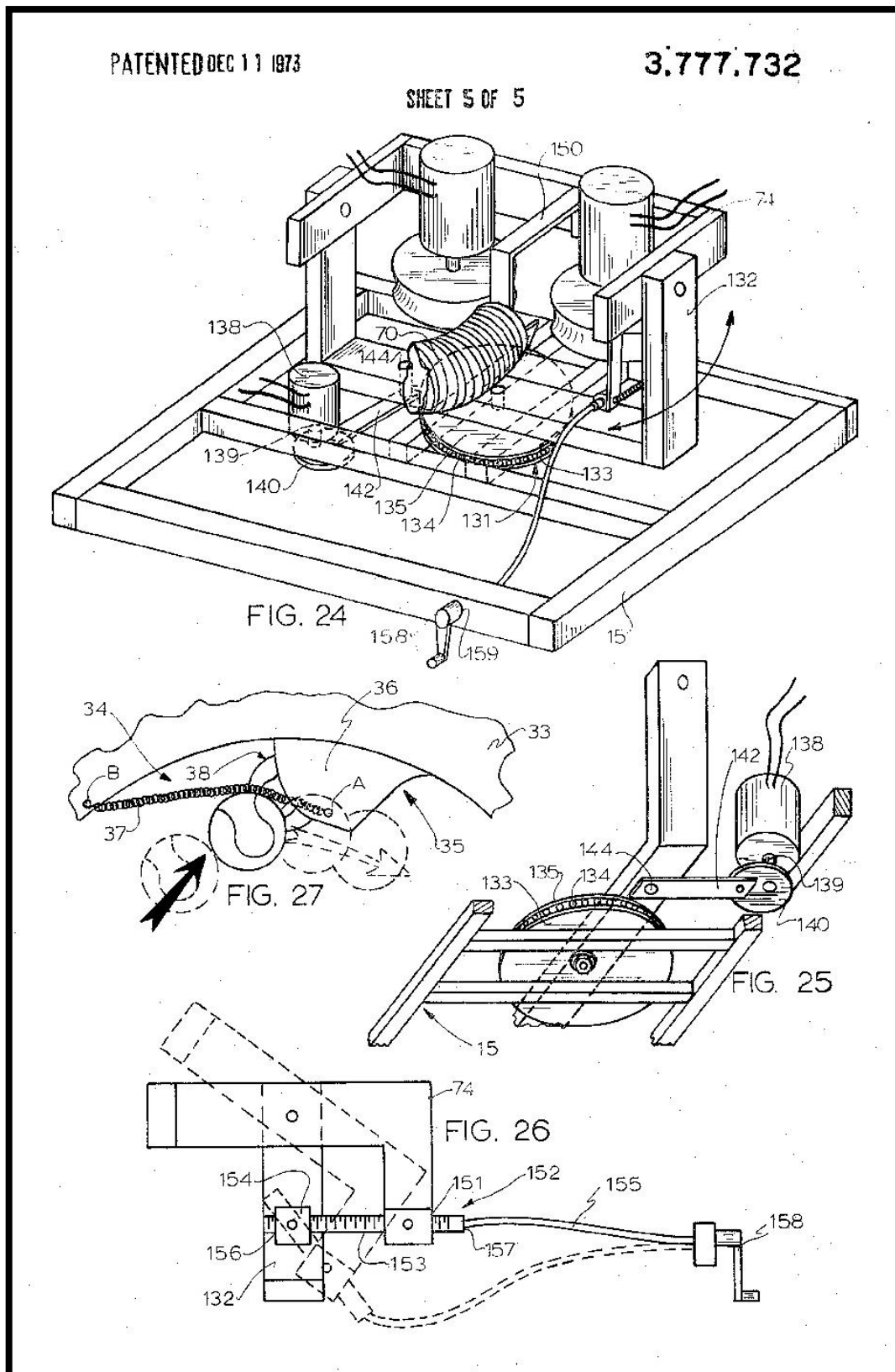


Figura B.6 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 6.

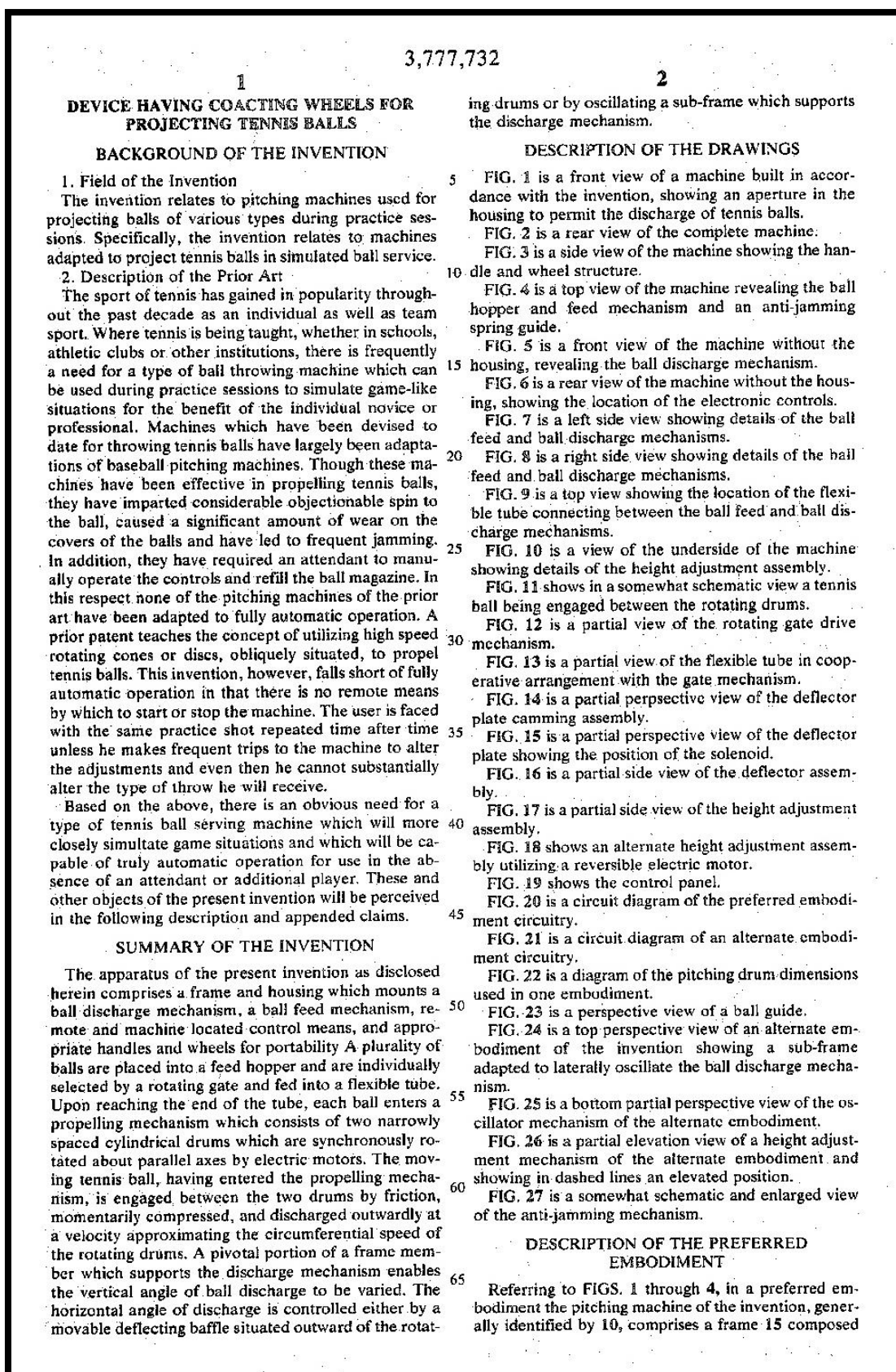


Figura B.7 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 7.

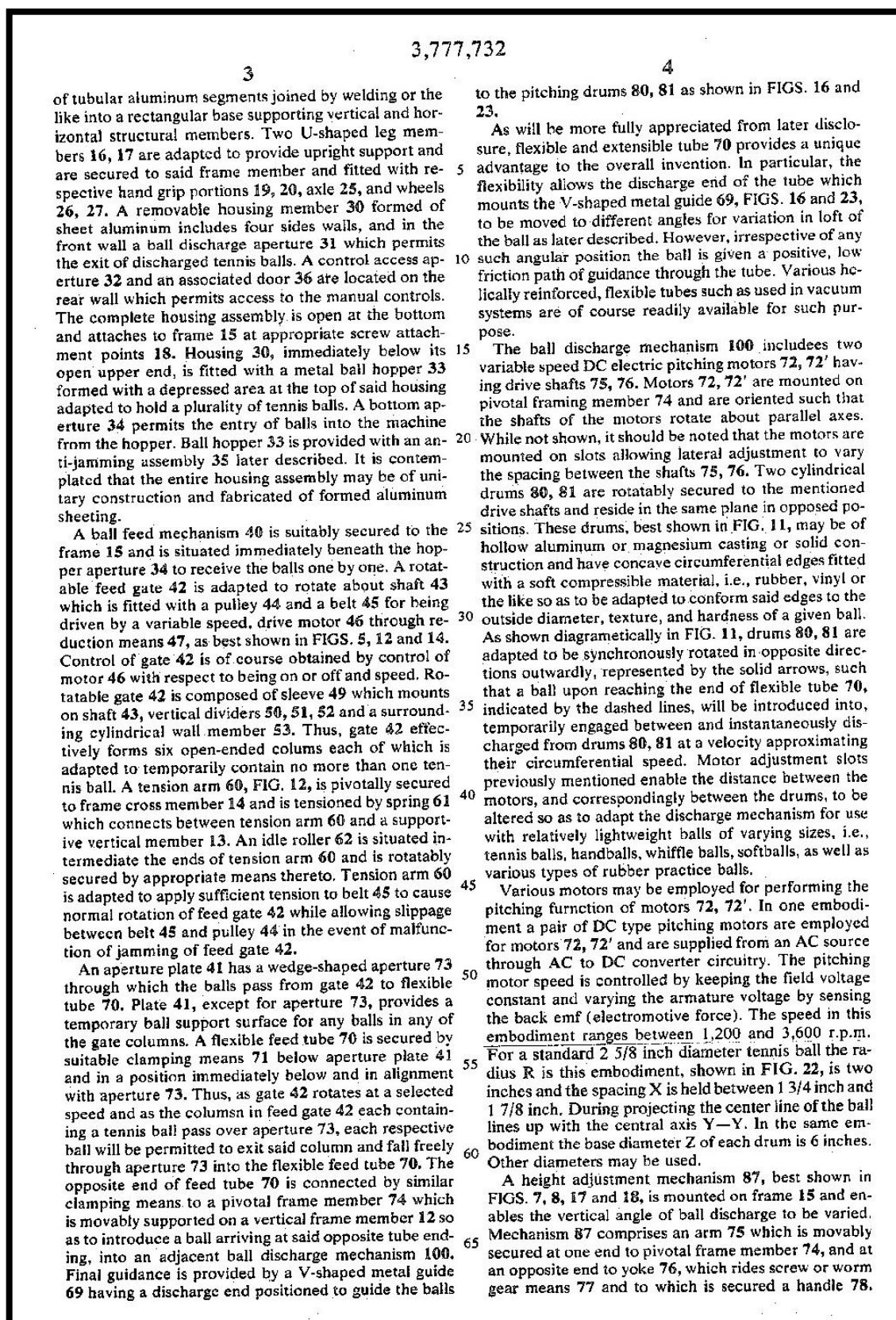


Figura B.8 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 8.

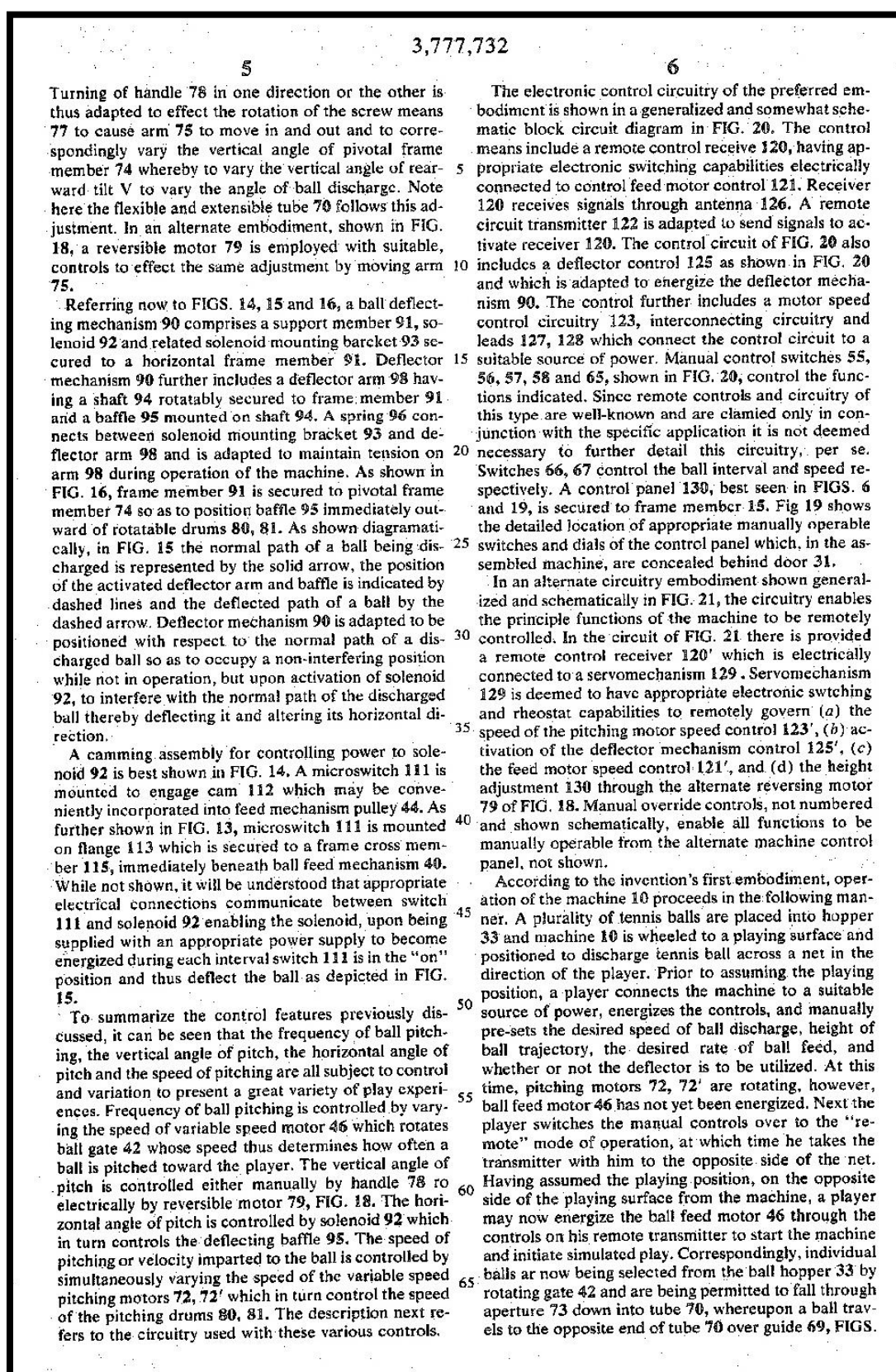


Figura B.9 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 9.

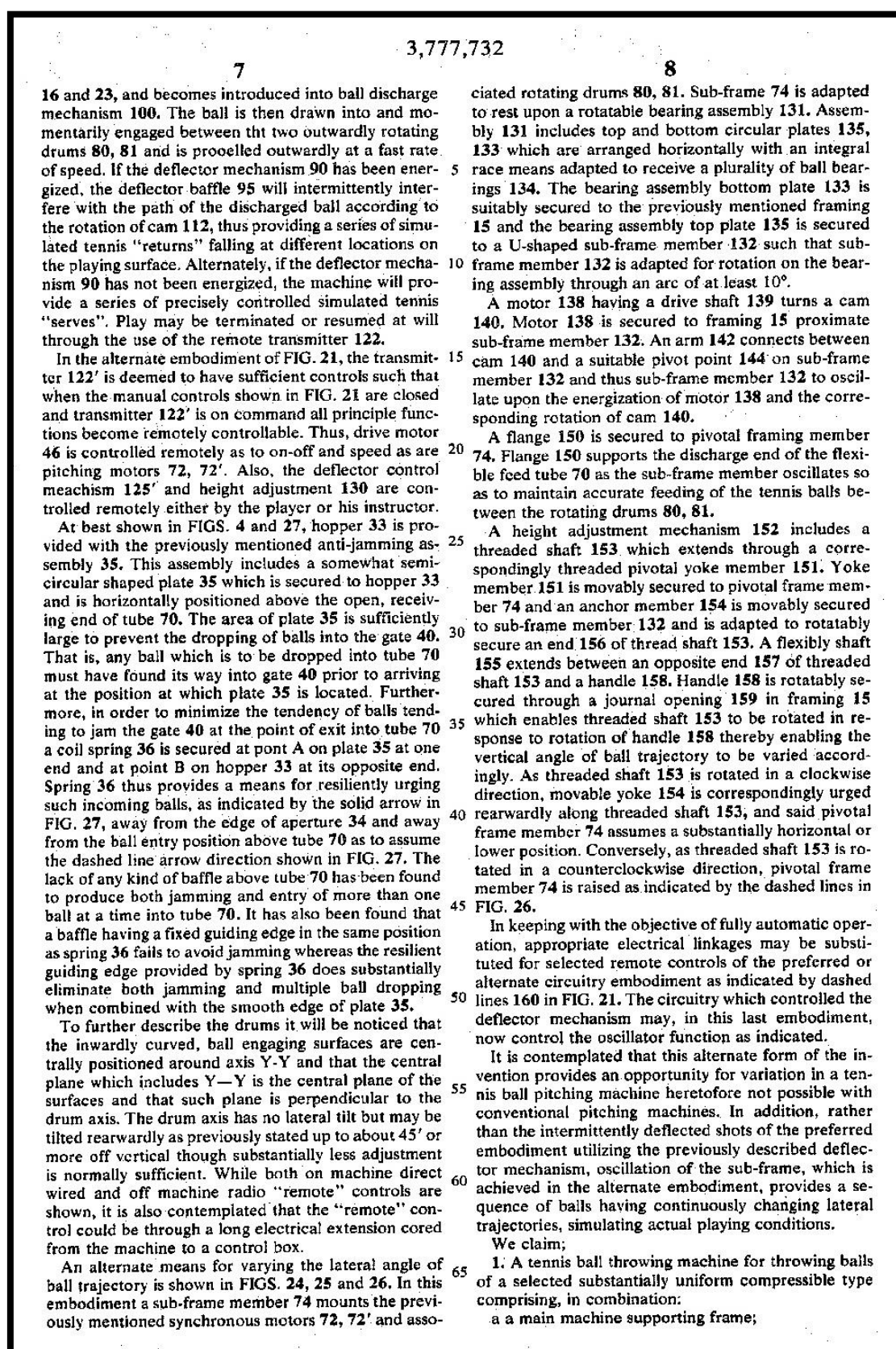


Figura B.10 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 10.

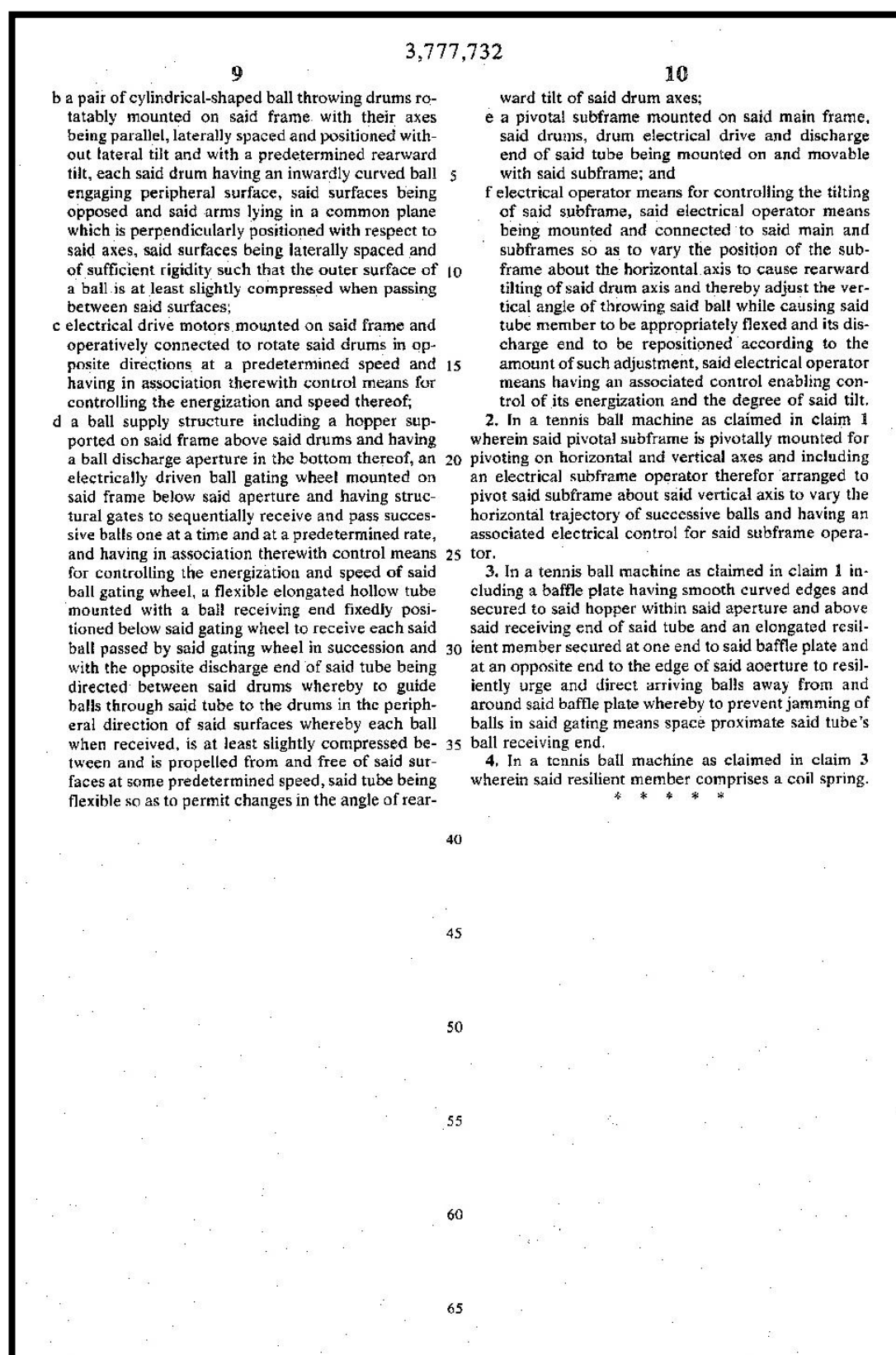


Figura B.11 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 11.

PO-1050 (5/69)	UNITED STATES PATENT OFFICE CERTIFICATE OF CORRECTION	
Patent No. <u>3,777,732</u>	Dated <u>December 11, 1973</u>	
Inventor(s) <u>Donald P. Holloway; William H. Payne; Donald H. Peeler</u>		
It is certified that error appears in the above-identified patent and that said Letters Patent are hereby corrected as shown below:		
<p>Column 1, line 52, a period should be inserted after "portability". first occurrence</p> <p>Column 3, line 48, "of" /should be -or-.</p> <p>Column 3, line 57, "columnn" should be -columns-.</p> <p>Column 4, line 15, "includees" should be -includes-.</p> <p>Column 5, line 59, "ro" should be -or-.</p> <p>Column 6, line 33, "swtching" should be -switching-.</p> <p>Column 6, line 47, "ball" should be -balls-.</p> <p>Column 6, line 64, "ar" should be -are-.</p> <p>Column 7, line 3, "tht" should be -the-.</p> <p>Column 7, line 4, "prooelled" should be -propelled-.</p> <p>Column 7, line 41, -so- should be inserted after "70".</p> <p>Column 7, line 57, "45'" should be -45°-.</p> <p>Column 7, line 63, "cored" should be -cord-.</p> <p>Column 8, line 16, -causes- should be inserted after "thus".</p> <p>Column 8, line 30, "flexibly" should be -flexible-.</p> <p>Column 9, line 7, "arms" should be -drums-.</p> <p>Column 9, line 32, "whereby" should be -so as-.</p> <p>Column 10, line 31, "aoerture" should be -aperture-.</p>		
Signed and sealed this 1st day of October 1974.		
<p>(SEAL) Attest:</p> <p>McCOY M. GIBSON JR. Attesting Officer</p> <p>C. MARSHALL DANN Commissioner of Patents</p>		

Figura B.12 Patent "Device Having Coacting Wheels for Projecting Tennis Balls" (Holloway, et al., 1972) – Pàgina 12.

United States Patent [19][11] **4,108,432****Clark et al.**[45] **Aug. 22, 1978****[54] TENNIS BALL COLLECTION, PICK-UP AND PROPELLING SYSTEM**

[75] Inventors: **Thomas S. Clark**, Monte Sereno;
William S. Kennedy, San Jose; **Robert L. Piziali**, Stanford, all of Calif.

[73] Assignee: **American Tennis Systems, Inc.**,
 Sunnyvale, Calif.

[21] Appl. No.: **641,081**

[22] Filed: **Dec. 15, 1975**

Related U.S. Application Data

[62] Division of Ser. No. 386,308, Aug. 7, 1973, abandoned.

[51] Int. Cl.² **A63B 69/00**

[52] U.S. Cl. **273/29 A; 124/51 A;**

124/48; 124/41 R

[58] Field of Search 273/29 R, 29 A, 26 A,
 273/26 D, 30, 201; 124/41 R, 51 R, 51 A, 82,
 34, 56; 272/3

[56] References Cited**U.S. PATENT DOCUMENTS**

2,087,575	7/1937	Littell et al.	273/29 A
2,147,705	2/1939	Hunter	273/26 R
2,199,009	4/1940	Perryman	273/30
2,646,785	7/1953	Goldman	124/51 R
3,306,613	2/1967	Mainers	273/26 D
3,779,227	12/1973	Scott	273/26 D

3,785,358	1/1974	D'Angelo et al.	273/30
3,858,880	1/1975	Graves	273/29 A
3,917,265	11/1975	Schrier et al.	273/30
3,948,512	4/1976	Worthington	273/29 A

Primary Examiner—Richard C. Pinkham

Assistant Examiner—T. Brown

Attorney, Agent, or Firm—Gerald D. Moore

[57] ABSTRACT

A tennis ball retrieving and propelling device for placement on a surface having a ball delivery tube and a carousel type ball retriever positioned below the ball delivery tube for receiving balls to be pneumatically transported to the ball delivery tube. The delivery tube is provided with a mechanism for constricting the effective cross sectional area thereof. The mechanism is provided with a releasing element for releasing the constriction to permit a ball to be pneumatically propelled through the tube. The mechanism includes a section of flexible tubing attached to the delivery tube, a cable surrounding the flexible tubing and a device attached to the cable for tensioning and releasing the cable to restrict and release a ball traveling through the flexible tube. The balls are pneumatically retrieved and propelled from the propelling device. The propelling device has elements for controlling the speed, azimuth and elevation of a ball delivered therefrom.

3 Claims, 13 Drawing Figures

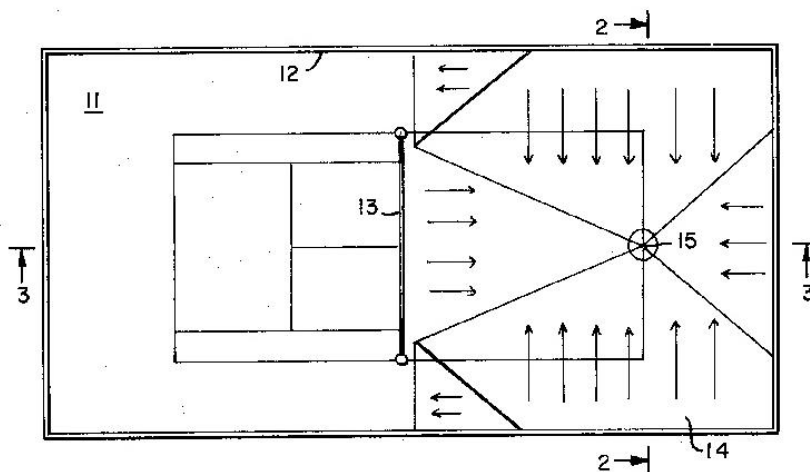


Figura B.13 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 1.

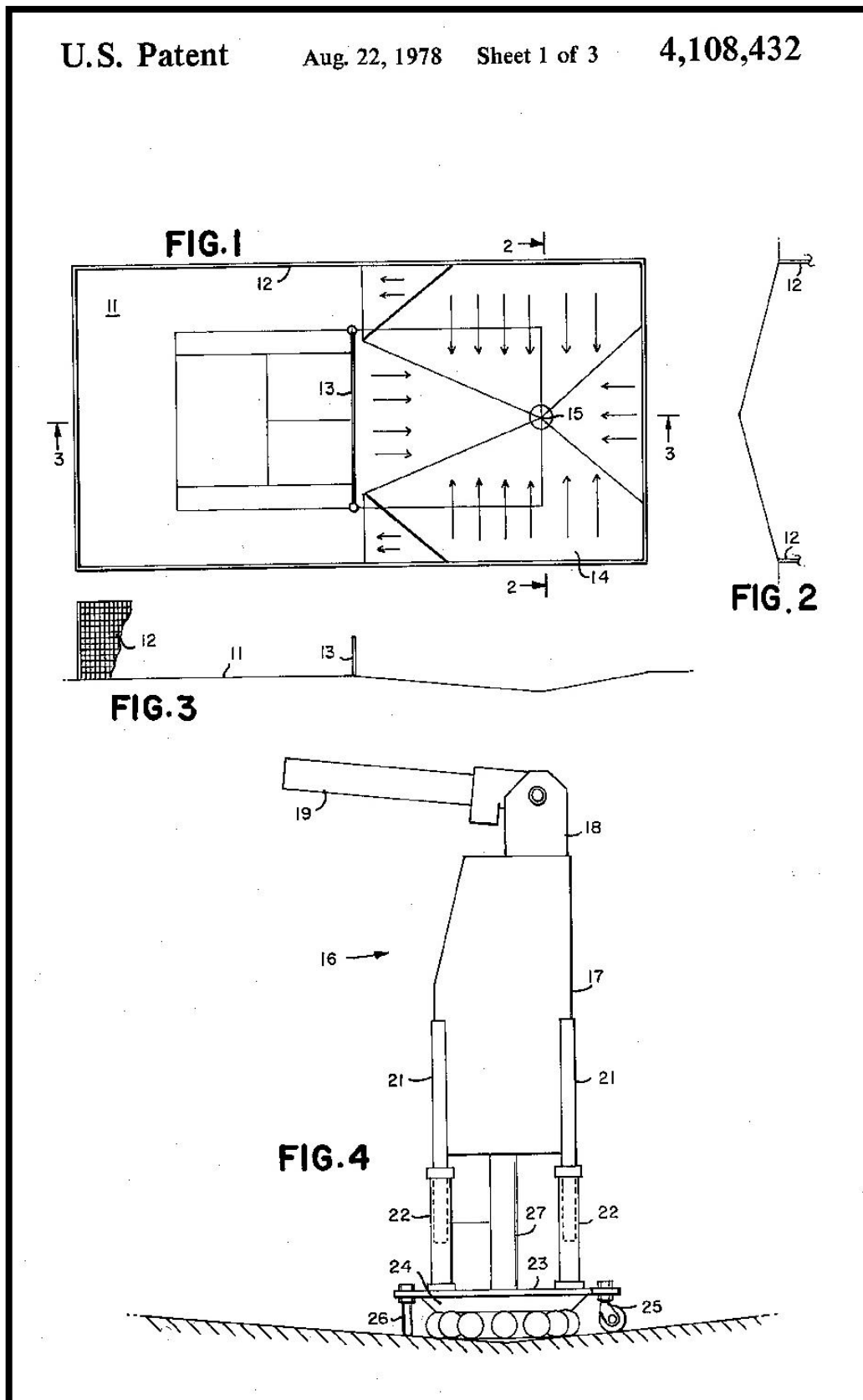


Figura B.14 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 2.

U.S. Patent

Aug. 22, 1978 Sheet 2 of 3

4,108,432

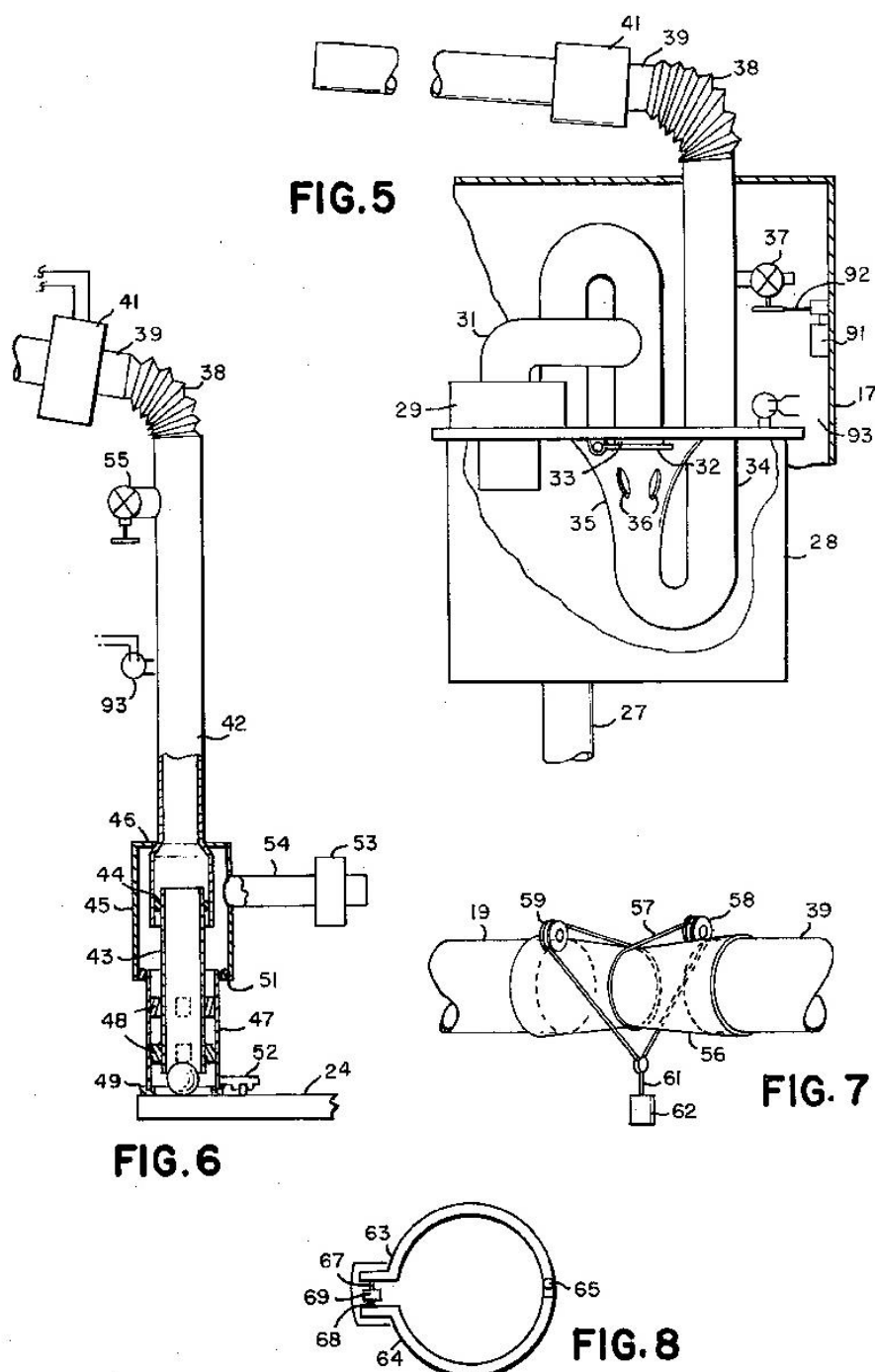


Figura B.15 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 3.

U.S. Patent

Aug. 22, 1978

Sheet 3 of 3

4,108,432

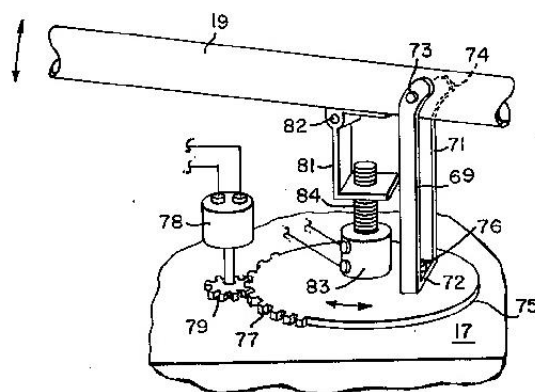


FIG. 9

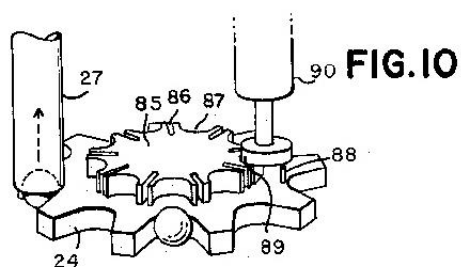


FIG. 10

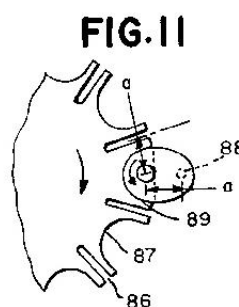


FIG. 11

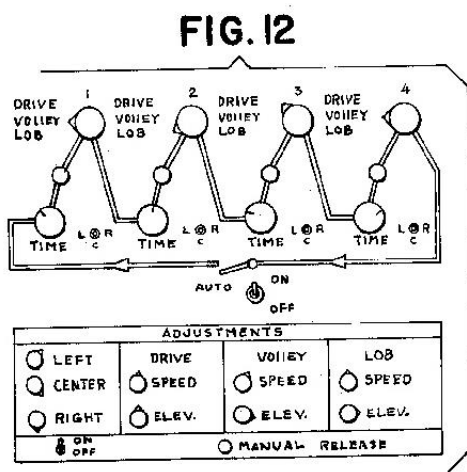


FIG. 12

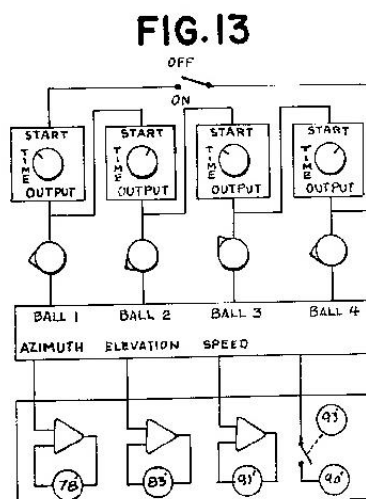


FIG. 13

Figura B.16 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 4.

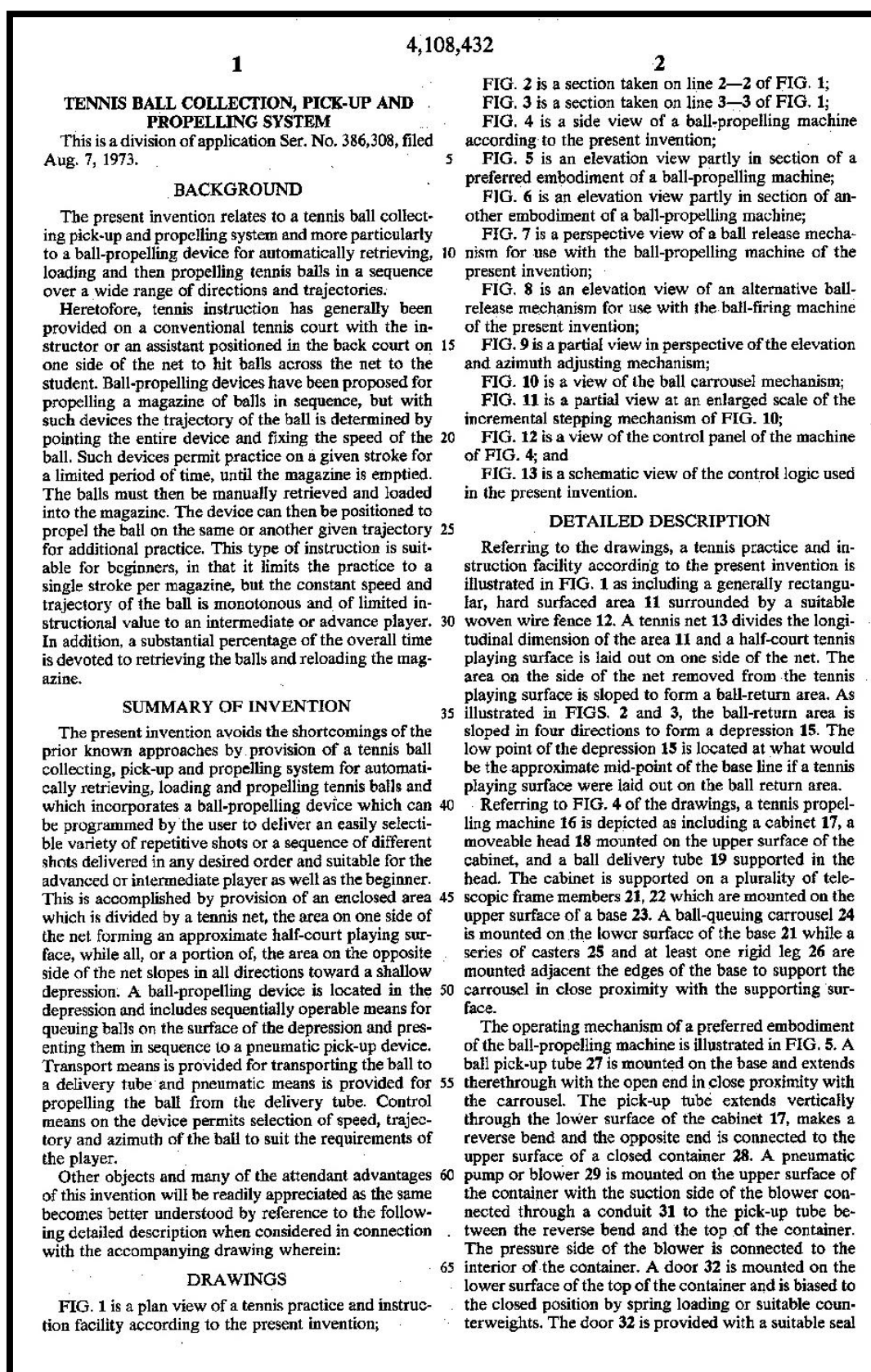


Figura B.17 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 5.



Figura B.18 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 6.

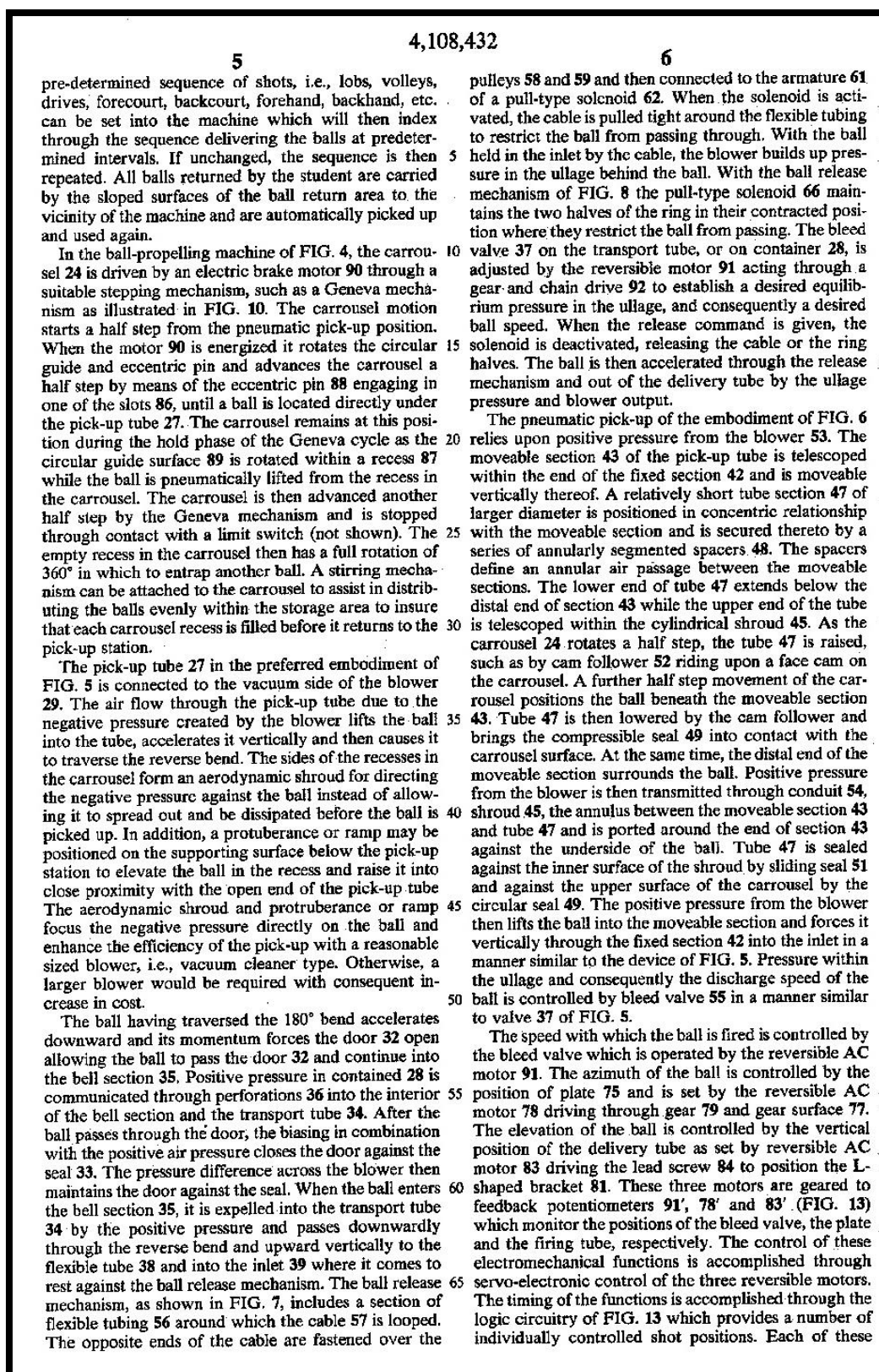


Figura B.19 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 7.

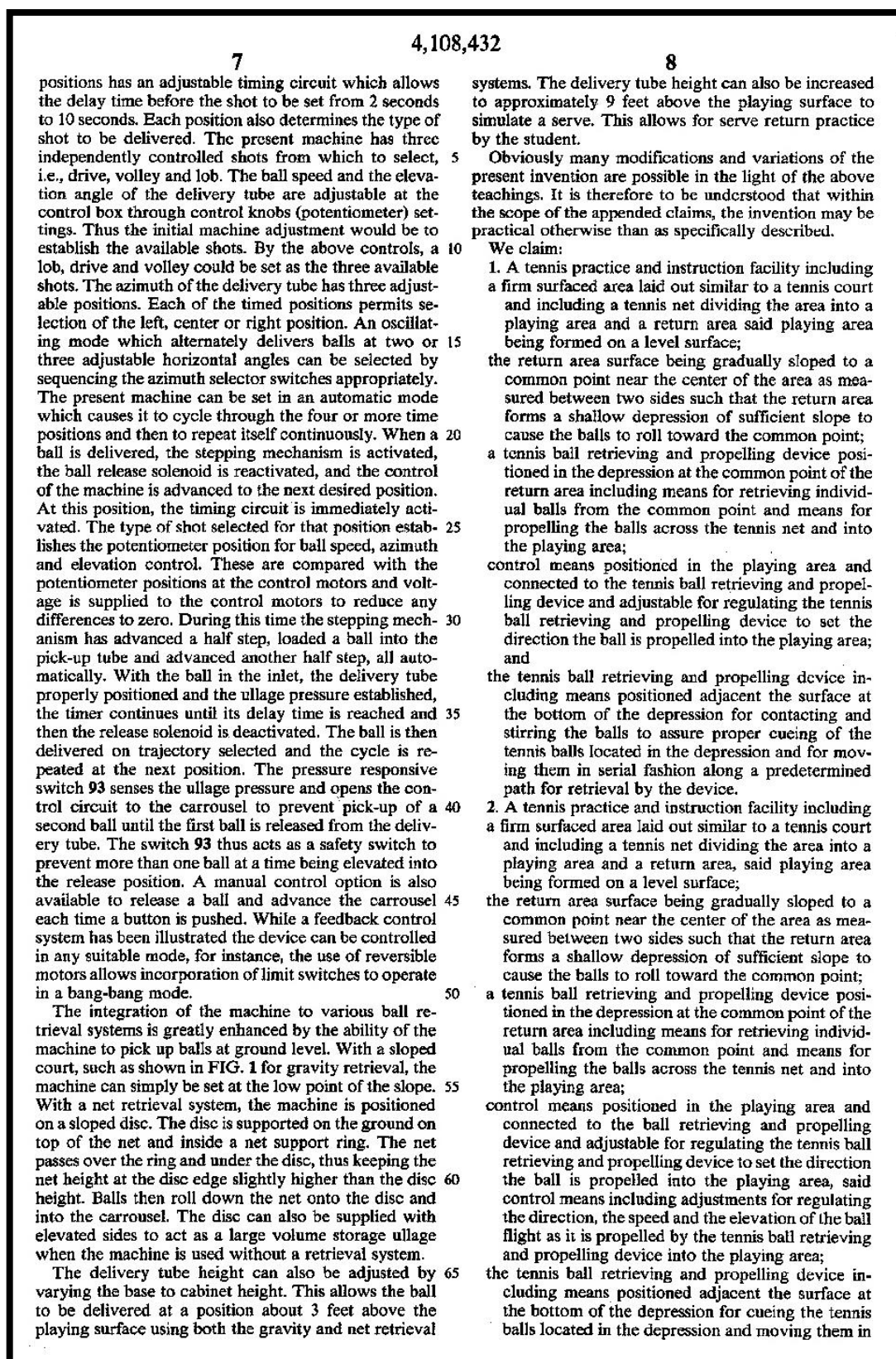


Figura B.20 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 8.

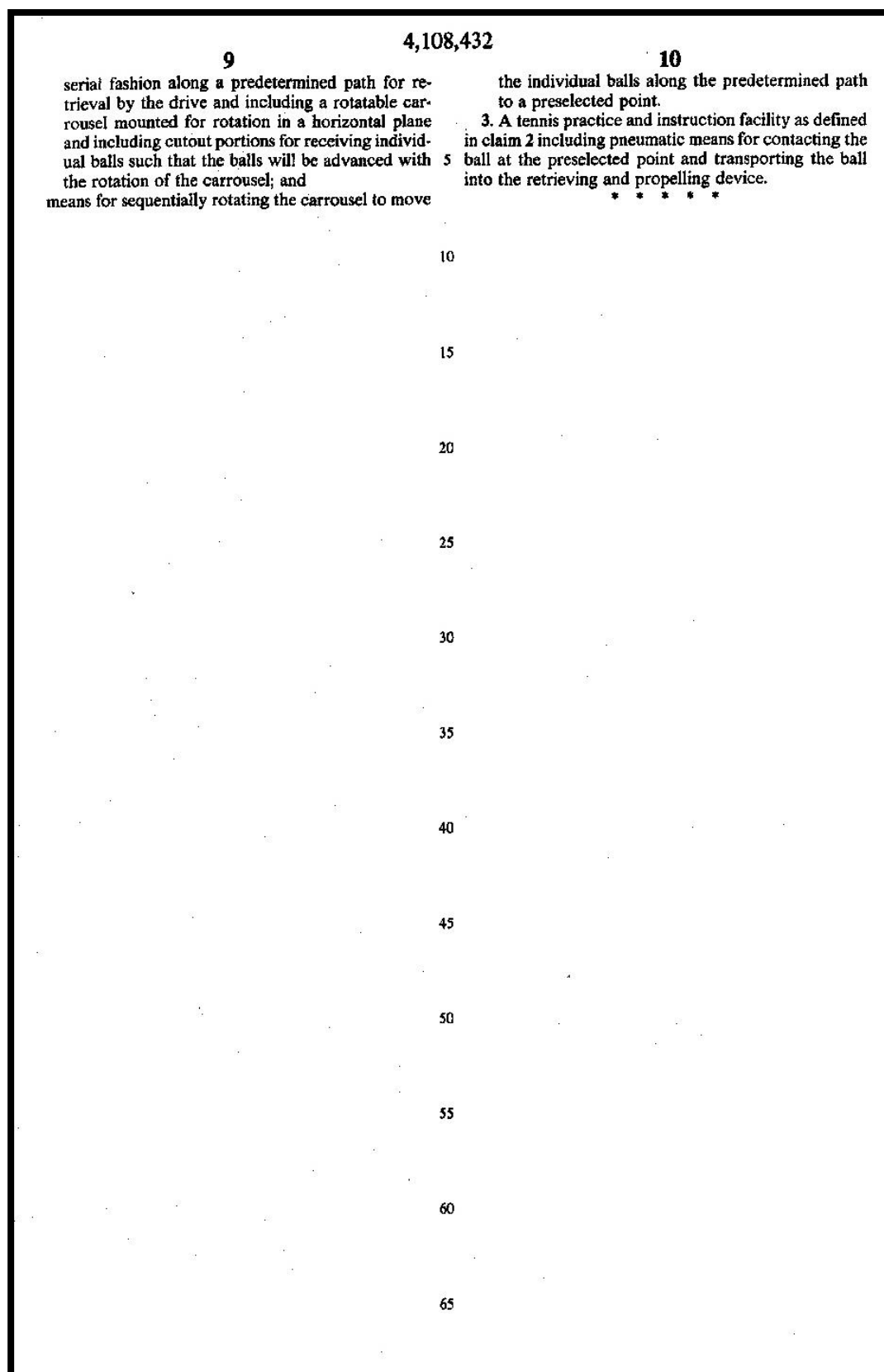


Figura B.21 Patent "Tennis Ball Collection, Pick-up and Propelling System" (Clark, et al., 1975) – Pàgina 9.

Annex C. Fitxes tècniques



Ficha técnica

Rueda A-PU 2-1216

Codigo				Tipo cojinete Eje					
2-1216	100	100	32		107x86	86/80x60	8	142	94



Características

Fabricada con chapa de acero hasta 2,5 m/m de espesor.
 Soporte con doble rodamiento a bolas con pistas complementarias endurecidas.
 Acabado cincado cromado.
 Gran variedad de fijaciones, frenos, ruedas.
 Fabricadas según normas europeas EN 12530.

Datos técnicos

Diámetro: 100 mm
Carga: 100 kg
Tipo de cojinete: Cojinete de bolas
Ancho de Banda de rodadura: 32 mm
Medidas de placa superior: 107x86 mm
Distancia entre agujeros: 86/80x60 mm
Diámetro agujero sujeción platina: 8 mm
Altura total: 142 mm
Radio de giro: 94 mm

Archivos CAD



Rueda

PU (Poliuretano)
 Núcleo de polipropileno y banda de poliuretano gris (95º shore A)
Rango de temperatura: -25º ÷ +80º

Productos relacionados



Codigo: 2-1102

Ruedas Alex: C/ Can Sellares, 31 (Pol. Ind. Nort-Est) - 08740 - Sant Andreu de la Barca, Barcelona (Spain). Todos los derechos reservados. Ruedas Alex, S.L.U. Tel.: 93.682.80.20 | Fax: 93.682.80.22 | E mail: info@alex.es | Visite nuestra web: www.alex.es

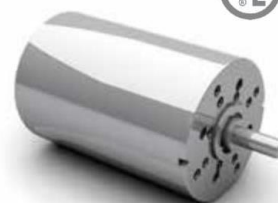
Figura C.1 Fitxa tècnica – Roda A-PU 2-1216.

>> GR 63x25 | cont. 50 W, peak 119 W



- » Operation in both directions of rotation
- » Ball bearing at motor output shaft is standard
- » Optionally with deviant shaft length and diameter, shaft on both sides, special and high voltage winding, higher protection class up to IP 67

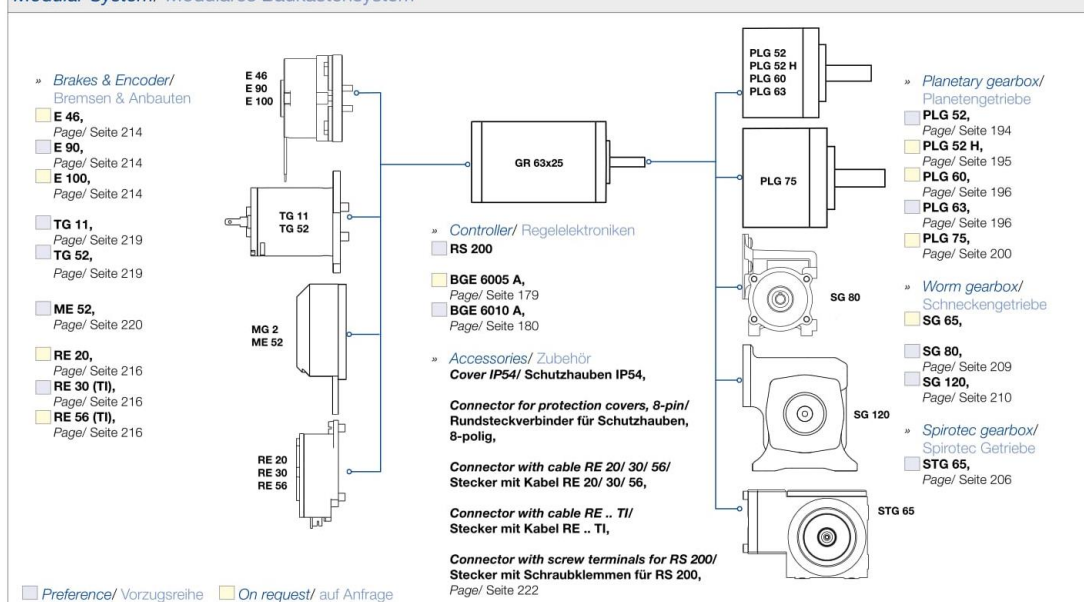
- » Drehrichtung Rechts-/ Linkslauf
- » Motorwelle abtriebsseitig kugellagert ist Standard
- » Optional abweichende Wellenlängen und -durchmesser, beidseitige Welle, Sonder- und Hochspannungswicklungen, höhere Schutzart bis IP 67



Data/ Technische Daten		GR 63x25			
Nominal voltage/ Nennspannung	VDC	12	24	40	60
Nominal current/ Nennstrom	A ^{*)}	5.2	2.7	1.7	1.1
Nominal torque/ Nennmoment	Ncm ^{*)}	13.7	14	13.3	14.5
Nominal speed/ Nenn Drehzahl	rpm ^{*)}	3100	3300	3500	3300
Friction torque/ Reibungsmoment	Ncm ^{*)}	1.5	1.5	1.5	1.5
Stall torque/ Anhaltmoment	Ncm ^{*)}	82	108	118	116
No load speed/ Leerlauf Drehzahl	rpm ^{*)}	3600	3600	3800	3600
Nominal output power/ Dauerabgabeleistung	W ^{*)}	44.5	48.4	48.7	50
Maximum output power/ Maximale Abgabeleistung	W	77.3	101.8	117.4	119.3
Torque constant/ Drehmomentkonstante	Ncm A ^{-1**)}	3	6	9.8	15.3
Terminal Resistance/ Anschlußwiderstand	Ω	0.44	1.33	3.33	7.89
Terminal inductance/ Anschlußinduktivität	mH	1	2.9	7.3	17.4
Starting current/ Anlaufstrom	A ^{*)}	27	18	12	7.6
No load current/ Leerlaufstrom	A ^{*)}	0.6	0.36	0.21	0.14
Demagnetisation current/ Entmagnetisierungsstrom	A ^{*)}	50	24	16	9.5
Rotor inertia/ Rotor Trägheitsmoment	gcm ²	400	400	400	400
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	1.2	1.2	1.2	1.2

^{*)} Δθ_w = 100 K; ^{**) θ_R = 20°C ^{***)} at nominal point/ im Nennpunkt}

Modular System/ Modulares Baukastensystem



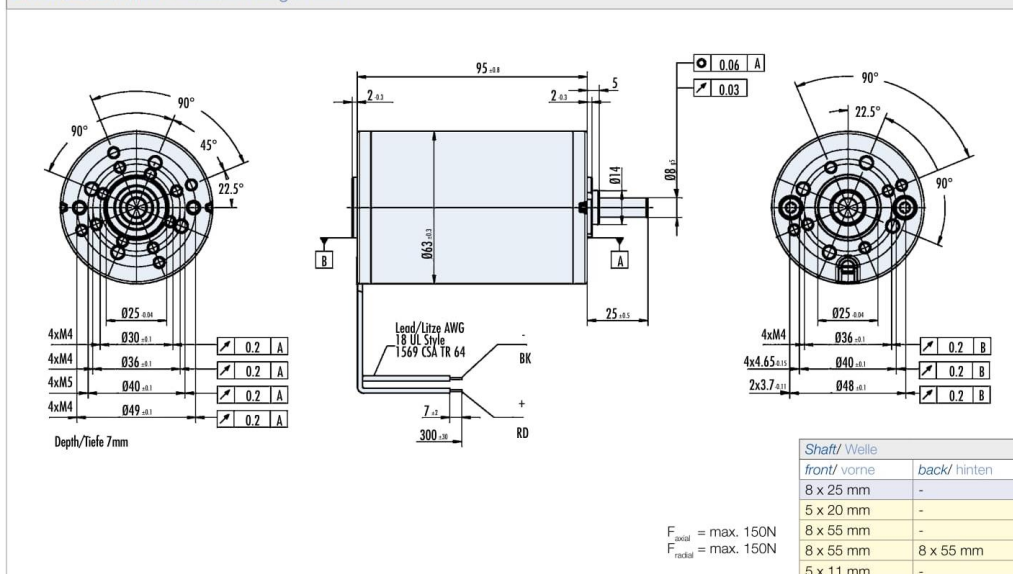
44 | Visit www.dunkermotoren.com for further product information/ Besuchen Sie www.dunkermotoren.de für weitere Produktinformationen

Figura C.2 Fitxa tècnica (Primera pàgina) – Motor GR 63x25.

GR 63x25 | cont. 50 W, peak 119 W

dunkermotoren

Dimensions in mm/ Maßzeichnung in mm



Characteristic diagram/ Belastungskennlinien

In accordance with/ Belastungskennlinien gezeichnet nach EN 60034

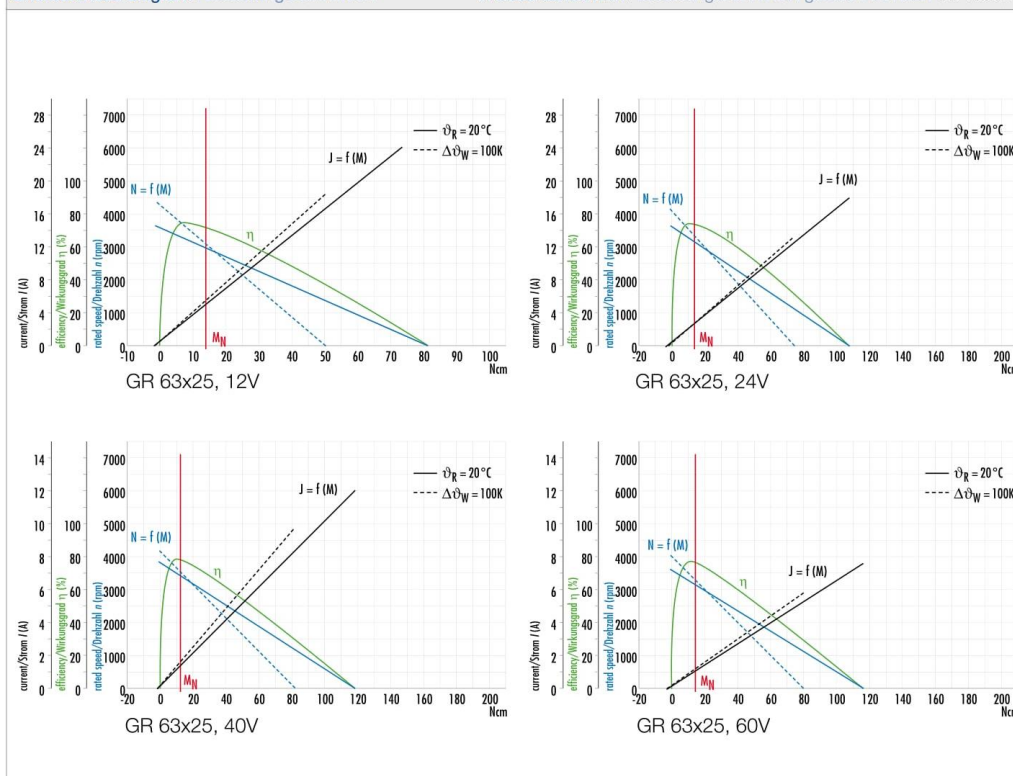
Visit www.dunkermotoren.com for further product information/ Besuchen Sie www.dunkermotoren.de für weitere Produktinformationen | 45

Figura C.3 Fitxa tècnica (Segona pàgina) – Motor GR 63x25.

BG 65 SI | cont. 120 W, peak 260 W

- » With integral speed controller for 4-quadrant drive
- » As standard with a 12-pin connector (IP65). Where larger quantities are involved, we can supply a motor version with leads (17 mm shorter, IP50).
- » On request, this motor can be manufactured in different voltage versions

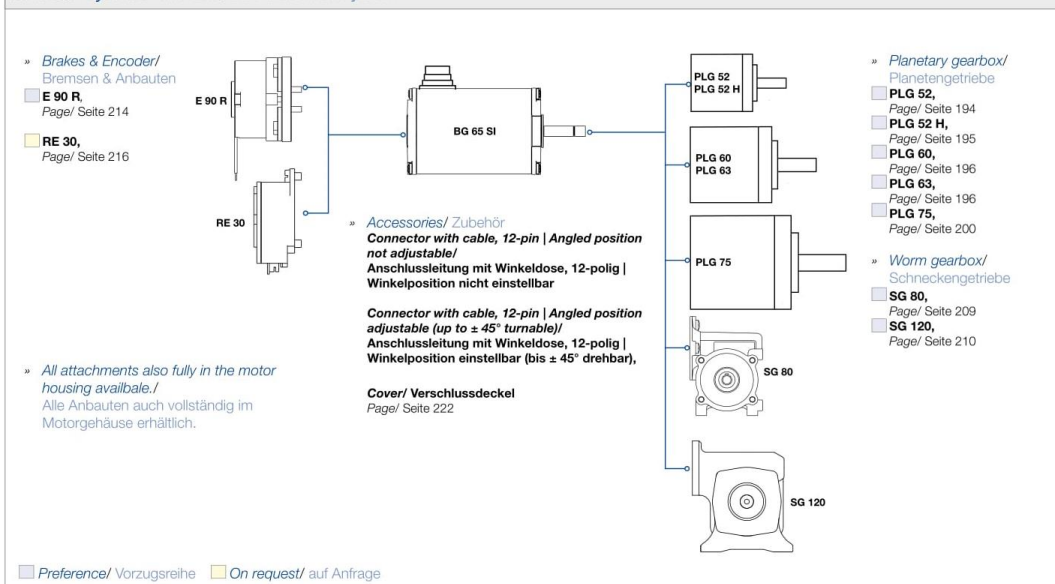
- » Mit integriertem Speed-controller für 4-Quadrantenbetrieb
- » Standardmäßig mit einem 12-poligen Anschlussstecker (IP65) versehen. Bei größeren Bedarfsfällen kann auch eine Motorversion in Litzenausführung (17 mm kürzer, IP50) geliefert werden.
- » Diese Motoren werden auf Anfrage mit anderen Spannungsvarianten hergestellt



Data/ Technische Daten		BG 65x25 SI	BG 65x50 SI	BG 65x75 SI
Nominal voltage/ Nennspannung	VDC	24	24	42
Nominal current/ Nennstrom	A ^{*)}	4	5.6	4.5
Nominal torque/ Nennmoment	Ncm [†]	17.4	26	40
Nominal speed/ Nenndrehzahl	rpm [‡]	3080	3090	2860
Friction torque/ Reibungsmoment	Ncm [†]	4	7	11
Stall torque/ Anhaltermoment	Ncm [‡]	97 ^{***}	163 ^{***}	330 ^{***}
No load speed/ Leerlaufdrehzahl	rpm [†]	6620	6470	6320
Nominal output power/ Dauerabgabeleistung	W [†]	55.9	84	120
Maximum output power/ Maximale Abgabeleistung	W	92.2	145	260
Torque constant/ Drehmomentkonstante	Ncm A ^{†***}	6.7	6.2	12
Peak current/ Zulässiger Spitzenstrom (2 sec.)	A [†]	83.3 / 20 ^{***}	130 / 20 ^{***}	136 / 20 ^{***}
Rotor inertia/ Rotor Trägheitsmoment	gcm ²	71.6	128	172
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	0.87	1.3	1.8
Voltage range/ Zulässiger Spannungsbereich	VDC	12 ... 44 ^{***}	12 ... 44 ^{***}	12 ... 44 ^{***}
Recommended speed control range/ Empfohlener Drehzahlregelbereich	rpm	150 ... Rated speed/ Nenndrehzahl		

^{*)} DJ_W = 100 K; ^{†)} J_R = 20°C ^{***)} at nominal point/ im Nennpunkt ^{****)} Will be restricted by peak current/ Wird durch den Spitzenstrom der Elektronik eingegrenzt

Modular System/ Modulares Baukastensystem



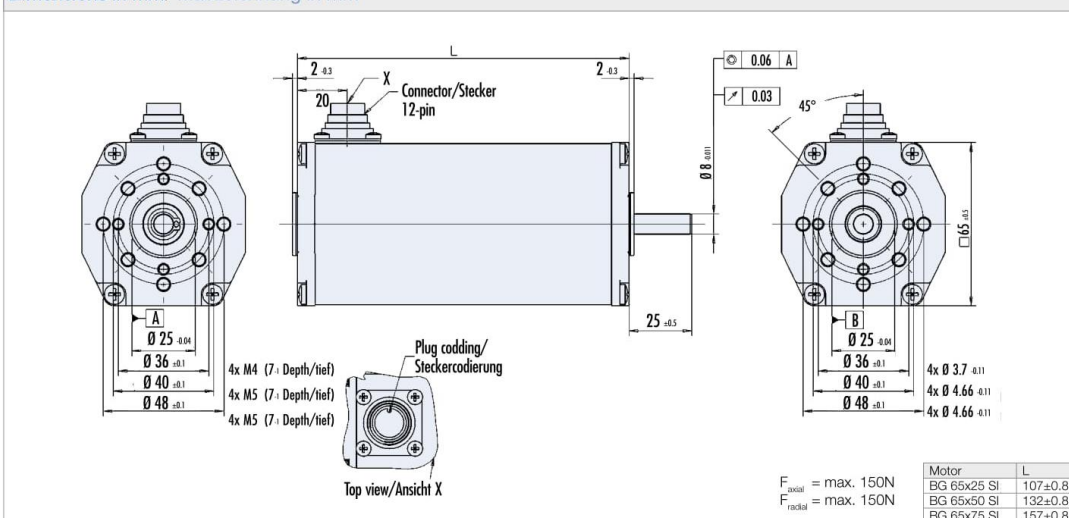
96 | Visit www.dunkermotoren.com for further product information/ Besuchen Sie www.dunkermotoren.de für weitere Produktinformationen

Figura C.4 Fitxa tècnica (Primera pàgina) – Motor BG 65 SI.

>> BG 65 SI | cont. 120 W, peak 260 W



Dimensions in mm/ Maßzeichnung in mm



Pin assignment/ Pinbelegung

12-Pin	Power Signal
A	OUT 1 orange
B	IN 1 yellow
C	IN 2 blue
D	IN 4 green
E+F	U _{Power} red

12-Pin	Power Signal
G+M	GND _{Power} black
H	N - magenta
J	N + pink
K	OUT 3 white
L	IN 3 brown

Characteristic diagram/ Belastungskennlinien

In accordance with/ Belastungskennlinien gezeichnet nach EN 60034

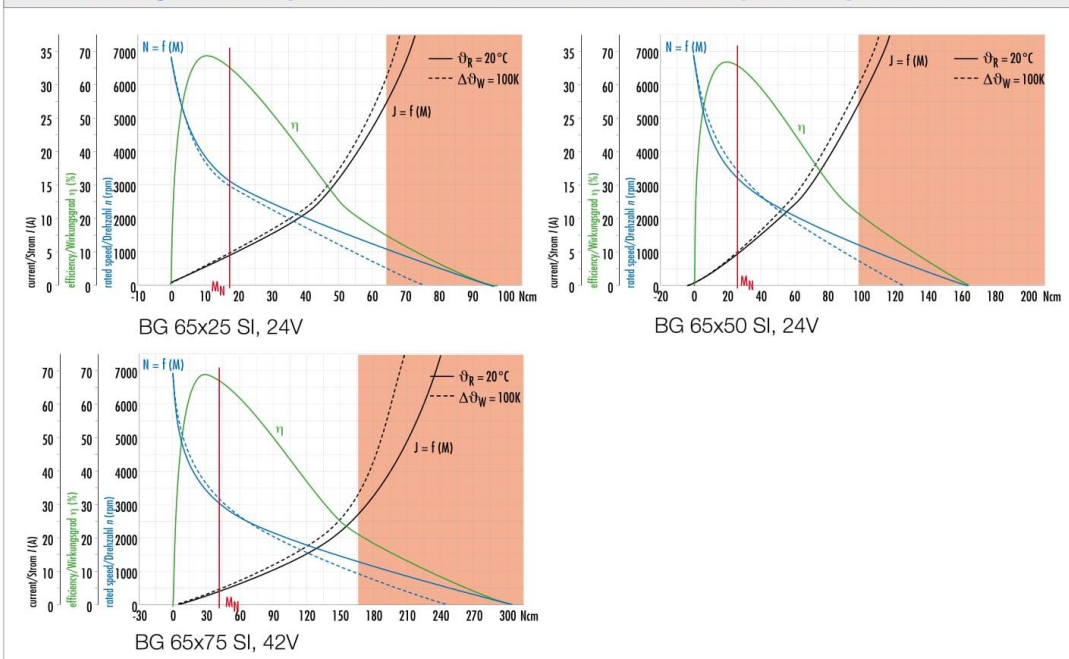
Visit www.dunkermotoren.com for further product information/ Besuchen Sie www.dunkermotoren.de für weitere Produktinformationen | 97

Figura C.5 Fitxa tècnica (Segona pàgina) – Motor BG 65 SI.

Annex D. Dades dels mallats

Coord X	Coord Y	Coord Z	Codi	Matlab	z_0	Coord X_A	Coord X_B	Coord X_C	Coord X_D	Coord Y_A	Coord Y_B	Coord Y_C	Coord Y_D	Beta A	Beta B	Beta C	Beta D
17,60375	4,63	0	C1	1	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	5,14375	5,14375	4,115	4,115	0,295167	0,274152	0,221301	0,238606
18,97625	4,63	0	C2	2	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	5,14375	5,14375	4,115	4,115	0,274152	0,255868	0,206304	0,221301
20,34875	4,63	0	C3	3	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	5,14375	5,14375	4,115	4,115	0,255868	0,239827	0,193187	0,206304
21,72125	4,63	0	C4	4	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	5,14375	5,14375	4,115	4,115	0,239827	0,225646	0,18162	0,193187
23,09375	4,63	0	C5	5	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	5,14375	5,14375	4,115	4,115	0,225646	0,213024	0,171348	0,18162
17,60375	3,60	0	C6	6	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,238606	0,221301	0,167165	0,180445
18,97625	3,60	0	C7	7	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,221301	0,206304	0,155691	0,167165
20,34875	3,60	0	C8	8	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,206304	0,193187	0,14568	0,155691
21,72125	3,60	0	C9	9	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,193187	0,18162	0,136872	0,14568
23,09375	3,60	0	C10	10	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,18162	0,171348	0,129062	0,136872
17,60375	2,57	0	C11	11	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,180445	0,167165	0,112022	0,121025
18,97625	2,57	0	C12	12	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,167165	0,155691	0,104261	0,112022
20,34875	2,57	0	C13	13	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,155691	0,14568	0,097503	0,104261
21,72125	2,57	0	C14	14	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,14568	0,136872	0,091565	0,097503
23,09375	2,57	0	C15	15	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,136872	0,129062	0,086307	0,091565
17,60375	1,54	0	C16	16	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,121025	0,112022	0,056187	0,060735
18,97625	1,54	0	C17	17	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,112022	0,104261	0,052273	0,056187
20,34875	1,54	0	C18	18	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,104261	0,097503	0,048868	0,052273
21,72125	1,54	0	C19	19	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,097503	0,091565	0,045879	0,048868
23,09375	1,54	0	C20	20	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,091565	0,086307	0,043234	0,045879
17,60375	0,51	0	C21	21	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	1,02875	1,02875	0	0	0,060735	0,056187	0	0
18,97625	0,51	0	C22	22	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	1,02875	1,02875	0	0	0,056187	0,052273	0	0
20,34875	0,51	0	C23	23	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	1,02875	1,02875	0	0	0,052273	0,048868	0	0
21,72125	0,51	0	C24	24	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	1,02875	1,02875	0	0	0,048868	0,045879	0	0

23,09375	0,51	0	C25	25	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	1,02875	1,02875	0	0	0,045879	0,043234	0	0
17,60375	-0,51	0	C26	26	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,05619	-0,06074
18,97625	-0,51	0	C27	27	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,05227	-0,05619
20,34875	-0,51	0	C28	28	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,04887	-0,05227
21,72125	-0,51	0	C29	29	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,04588	-0,04887
23,09375	-0,51	0	C30	30	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,04323	-0,04588
17,60375	-1,54	0	C31	31	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,06074	-0,05619	-0,11202	-0,12103
18,97625	-1,54	0	C32	32	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,05619	-0,05227	-0,10426	-0,11202
20,34875	-1,54	0	C33	33	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,05227	-0,04887	-0,0975	-0,10426
21,72125	-1,54	0	C34	34	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,04887	-0,04588	-0,09157	-0,0975
23,09375	-1,54	0	C35	35	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,04588	-0,04323	-0,08631	-0,09157
17,60375	-2,57	0	C36	36	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,12103	-0,11202	-0,16717	-0,18045
18,97625	-2,57	0	C37	37	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,11202	-0,10426	-0,15569	-0,16717
20,34875	-2,57	0	C38	38	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,10426	-0,0975	-0,14568	-0,15569
21,72125	-2,57	0	C39	39	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,0975	-0,09157	-0,13687	-0,14568
23,09375	-2,57	0	C40	40	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,09157	-0,08631	-0,12906	-0,13687
17,60375	-3,60	0	C41	41	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,18045	-0,16717	-0,2213	-0,23861
18,97625	-3,60	0	C42	42	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,16717	-0,15569	-0,2063	-0,2213
20,34875	-3,60	0	C43	43	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,15569	-0,14568	-0,19319	-0,2063
21,72125	-3,60	0	C44	44	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,14568	-0,13687	-0,18162	-0,19319
23,09375	-3,60	0	C45	45	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,13687	-0,12906	-0,17135	-0,18162
17,60375	-4,63	0	C46	46	1,1	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-4,115	-4,115	-5,14375	-5,14375	-0,23861	-0,2213	-0,27415	-0,29517
18,97625	-4,63	0	C47	47	1,1	18,29	19,6625	19,6625	18,29	-4,115	-4,115	-5,14375	-5,14375	-0,2213	-0,2063	-0,25587	-0,27415
20,34875	-4,63	0	C48	48	1,1	19,6625	21,035	21,035	19,6625	-4,115	-4,115	-5,14375	-5,14375	-0,2063	-0,19319	-0,23983	-0,25587
21,72125	-4,63	0	C49	49	1,1	21,035	22,4075	22,4075	21,035	-4,115	-4,115	-5,14375	-5,14375	-0,19319	-0,18162	-0,22565	-0,23983
23,09375	-4,63	0	C50	50	1,1	22,4075	23,78	23,78	22,4075	-4,115	-4,115	-5,14375	-5,14375	-0,18162	-0,17135	-0,21302	-0,22565
16,23125	3,60	0	S1	51	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,25878	0,238606	0,180445	0,195988
17,60375	3,60	0	S2	52	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	4,115	4,115	3,08625	3,08625	0,238606	0,221301	0,167165	0,180445

16,23125	2,57	0	S3	53	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,195988	0,180445	0,121025	0,131593
17,60375	2,57	0	S4	54	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	3,08625	3,08625	2,0575	2,0575	0,180445	0,167165	0,112022	0,121025
16,23125	1,54	0	S5	55	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,131593	0,121025	0,060735	0,066082
17,60375	1,54	0	S6	56	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	2,0575	2,0575	1,02875	1,02875	0,121025	0,112022	0,056187	0,060735
16,23125	0,51	0	S7	57	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	1,02875	1,02875	0	0	0,066082	0,060735	0	0
17,60375	0,51	0	S8	58	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	1,02875	1,02875	0	0	0,060735	0,056187	0	0
16,23125	-0,51	0	S9	59	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,06074	-0,06608
17,60375	-0,51	0	S10	60	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	0	0	-1,02875	-1,02875	0	0	-0,05619	-0,06074
16,23125	-1,54	0	S11	61	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,06608	-0,06074	-0,12103	-0,13159
17,60375	-1,54	0	S12	62	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-1,02875	-1,02875	-2,0575	-2,0575	-0,06074	-0,05619	-0,11202	-0,12103
16,23125	-2,57	0	S13	63	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,13159	-0,12103	-0,18045	-0,19599
17,60375	-2,57	0	S14	64	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-2,0575	-2,0575	-3,08625	-3,08625	-0,12103	-0,11202	-0,16717	-0,18045
16,23125	-3,60	0	S15	65	2,6	15,545	16,9175	16,9175	15,545	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,19599	-0,18045	-0,23861	-0,25878
17,60375	-3,60	0	S16	66	2,6	16,9175	18,29	18,29	16,9175	-3,08625	-3,08625	-4,115	-4,115	-0,18045	-0,16717	-0,2213	-0,23861

Taula D.1 Dades del mallat amb les que es treballa a la simulació del llançament, correspon al contingut del fitxer 'Mallat de punts.xls'.

Annex E. Codi en Matlab de la simulació del llançament

```

close all
%% VALORS D'INPUT
v0 = 135/3.6; % Velocitat de sortida v0 de la pilota [m/s]
alfa = 4*pi/180; % Angle ALFA [rad]
posicio = 'C40'; % Posició on es vol que la pilota boti
omega_y = 2000*pi/30; omega_z = 0*pi/30; % Efectes [rad/s] (y: +lift/-tall, z:
lateral)

%% MALLAT DE LA PISTA
mallat = 'Mallat de punts.xls'; % Excel amb posicions del mallat
[Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat_Codis, Excel_Mallat] = xlsread(mallat,
'Mallat_Valors');
% Excel_Mallat_Coord té els "números" del mallat
% Excel_Mallat_Codis té les "lletres" del mallat
coordx_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,1); % Cell amb les coordenades X de totes
les opcions
coordy_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,2); % Cell amb les coordenades Y de totes
les opcions
codi_element_mallat = Excel_Mallat(:,12:14); % Cell que conté columna amb el
codi, columna amb l'índex de l'element i l'alçada corresponent

for k = 1:66
    tf = strcmp(codi_element_mallat{k,1}, posicio); % Compara l'string del codi
amb el del mallat
    if tf % Quan trobi la fila de "codi_element_mallat" que coincideixi amb el
codi de posició donat
        index_element = codi_element_mallat{k,2}; % Dóna l'índex pel codi donat
        z0 = codi_element_mallat{k,3}; % Defineix l'alçada segons el codi
introduït
    end
end

%% VALORS INICIALS
x0 = 0; y0 = 0; % Posició llançadora [m]
ax0 = 0; ay0 = 0; az0 = -9.80665; % Acceleracions inicials [m/s^2]

%% DADES FIXES
m = 0.056; % Massa d'una pilota de tennis [kg]
r = 0.033; % Radi d'una pilota de tennis [m]
cd = 0.507; cl = 0.2; % Coeficients de drag i lift [-]
d_aire = 1.22; % Densitat de l'aire [kg/m^3]

% Capçalera pel document Excel que exportarà dades
Dades = {'i' 'vx' 'vy' 'vz' 'x' 'y' 'z' 'ax' 'ay' 'az' 'alfa_pilota'
'beta_pilota' 'v0' 'vx0' 'vy0' 'vz0'};

%% POSICIÓ DESITJADA DEL BOT
% S'utilitza "index_element" per trobar les dades de la posició
x_bot = coordx_mallat(index_element); % Coordenada x del bot
y_bot = coordy_mallat(index_element); % Coordenada y del bot
beta = atan(y_bot/x_bot); % Angle BETA de la màquina [rad]

%% CÀLCULS PRINCIPALS
% Activació de les variables inicials
x = x0; y = y0; z = z0; % S'inicialitza la posició a la corresponent a la
màquina
ax = ax0; ay = ay0; az = az0; % S'inicialitza l'acceleració
dt = 0.005; % Pas d'integració considerat
i = 2; % Comptador per a escriure al Excel
Passa = false; % Variable per determinar si passa la xarxa

```

```

% Parteix amb la velocitat v0, que es descomposa en els eixos X, Y i Z
v0x = v0*cos(beta)*cos(alfa);
v0y = v0*sin(beta)*cos(alfa);
v0z = v0*sin(alfa);

for t = 0:dt:1.5 % Iteració que realitza la integració
    if z-r > 0 % Per tal de considerar el punt extern de la pilota, no el
centre
        % Actualització de les velocitats en X, Y i Z
        vx = v0x + ax*dt; vy = v0y + ay*dt; vz = v0z + az*dt;
        % Actualització de les coordenades
        x = x + vx*dt; y = y + vy*dt; z = z + vz*dt;
        % Preparació del producte vectorial de velocitat de rotació per
        % velocitat
        v_vector = [vx vy vz];
        w_vector = [0 omega_y omega_z];
        % Preparació del mòdul de la velocitat
        v = norm(v_vector);
        w_x_v = norm(cross(w_vector,v_vector));
        % Càlcul de l'acceleració en cada component
        ax = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vz+cl*r*v*(1/w_x_v)*(omega_y*vz-
omega_z*vy)));
        ay = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vy-cl*r*omega_z*vx*(1/w_x_v)));
        az = 1/m*(-m*9.80665-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vz+cl*r*v*(1/w_x_v)*(-
omega_y*vx)));
        % S'obre la figura 1 i es ploteja un cercle vermell per cada
        % iteració
        figure(1)
        plot3(x, y, z-r, 'or'); hold on; grid on; % Representa la trajectòria
        % S'afegeix a la cell "Dades" les corresponents a la iteració
        Dades(i,:) = {i vx vy vz x y z ax ay az alfa beta v0 v0x v0y v0z};
        i = i + 1; % S'actualitza el comptador per a exportar les dades
        % Condició de que la pilota passi la xarxa
        if x >= 11.8 && x <= 11.9 % Es considera un rang de X per a la xarxa
            % Càlcul de l'alçada de la xarxa per a la coordenada Y
            h = 0.914+((1.07-0.914)*y*(y+5.485)/(2*5.485^2))+((1.07-
0.914)*y*(y-5.485)/(2*5.485^2));
            if z-r < h
                Passa = false;
                % 'NO PASSA LA XARXA'
                break
            end
            Passa = true;
        end
        if abs(x) > 23.78 || abs(y) > 5.485
            break % Finalitza la iteració si la pilota es troba fora de la
pista
        end
        v0x = vx; v0y = vy; v0z = vz;
    else
        % 'TOCA EL TERRA'
        break
    end
end
% Es posa títol als eixos de la figura 1
figure(1)
xlabel('Coordenada x [m]', 'FontSize', 18);
ylabel('Coordenada y [m]', 'FontSize', 18);
zlabel('Coordenada z [m]', 'FontSize', 18);

%% EXPORTACIÓ DE DADES
xlswrite('IteracióCompleta.xlsx', Dades, 'Full_Iteració', 'A1'); % Escriu al
Excel la matriu m
warning('off', 'MATLAB:xlswrite:AddSheet') % Evita un error per afegir un nou
full al Excel

```

```

%% DIBUIX DE LA PISTA
bgc = [0 0.5 0]; % Color blau
% S'estableix la pista com a polígon 2D
patch('XData',[0 23.78 23.78 0],'YData',[5.4850 5.4850 -5.4850 -5.4850],
'FaceColor','b','Edgecolor','w');
axis equal;
box off
axis tight;
% Dibuix de cada línia de la pista
line([0 23.78],[4.1150 4.1150],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([0 23.78],[-4.1150 -4.1150],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([11.89 11.89],[5.4850 -5.4850],[0 0],'color','w','LineWidth',0.5);
line([18.29 18.29],[4.1150 -4.1150],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([5.49 5.49],[4.1150 -4.1150],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([5.49 18.29],[0 0],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([23.58 23.78],[0 0],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([0 0.20],[0 0],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([0 23.78],[5.4850 5.4850],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([0 23.78],[-5.4850 -5.4850],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([0 0],[5.4850 -5.4850],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);
line([23.78 23.78],[5.4850 -5.4850],[0 0],'color','w','LineWidth',1.5);

```

Figura E.1 Codi complet en *Matlab* de la representació gràfica del llançament.

```

% Representació mallat serveis
line([15.545 15.545],[4.115 -4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 16.9175],[4.115 -4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([18.290 18.290],[4.115 -4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[4.115 4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[3.08625 3.08625],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[2.0575 2.0575],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[1.02875 1.02875],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[0 0],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[-1.02875 -1.02875],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[-2.0575 -2.0575],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[-3.08625 -3.08625],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([15.545 18.290],[-4.115 -4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);

```

Figura E.2 Codi en *Matlab* de la representació gràfica del mallat dels llançaments del tipus servei.

```

% Representació mallat tirs de camp
line([16.9175 16.9175],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([18.290 18.290],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([19.6625 19.6625],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([21.035 21.035],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([22.4075 22.4075],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([23.78 23.78],[5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[5.14375 5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[4.115 4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[3.08625 3.08625],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[2.0575 2.0575],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[1.02875 1.02875],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[0 0],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[-1.02875 -1.02875],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[-2.0575 -2.0575],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[-3.08625 -3.08625],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[-4.115 -4.115],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);
line([16.9175 23.78],[-5.14375 -5.14375],[0 0],'color','g','LineWidth',1.5);

```

Figura E.3 Codi en *Matlab* de la representació gràfica del mallat dels llançaments del tipus tir de camp.

Annex F. Codi en *Matlab* de la obtenció de dades de forma massiva

```

%% PARÀMETRES
posicio = 'S1'; % Posició desitjada on es vol que boti la pilota

%% VARIABLES SECUNDÀRIES
Entra = false; % Variable per a determinar si el llançament calculat entra
j = 2; % Comptador per a exportar dades a un document Excel
Dades = {'Codi' 'v0' 'alfa' 'beta' 'x_bot' 'y_bot' 'Omega_y' 'Omega_z'}; %
Capçalera per les dades exportades

%% MALLAT
mallat = 'Mallat de punts.xls'; % Excel amb dades sobre el mallat del disseny
[Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat_Codis, Excel_Mallat] = xlsread(mallat,
'Mallat_Valors');
% Excel_Mallat_Coord és cell que conté només números
% Excel_Mallat_Codis és cell que només conté el text
% Excel_Mallat és cell i conté totes les dades de l'Excel

Codi_Posicio_Mallat = Excel_Mallat(:,12:13); % Cell per a identificar el codi
donat de posició

for k = 1:66
    tf = strcmp(Codi_Posicio_Mallat{k,1}, posicio); % Compara l'string del codi
amb el del mallat
    if tf
        index_elem = Codi_Posicio_Mallat{k,2}; % Dóna l'índex pel codi donat
    end
end

%% Càlcul Principal

for v0 = 80:1:180 % Iteració per la velocitat de sortida v0
    for alfa = -10:0.5:10 % Iteració per angle ALFA
        funcio_model(v0, alfa, posicio, Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat) %
Crida de la funcio_model
        if Entra % Condició de si el llançament entra
            Dades(j,:) = Dades_tir_correcte; % Variable Dades_tir_correcte és
l'exportat de la funcio_model
            j = j + 1; % Incrementa el comptador per a l'exportació de Dades
            Entra = false; % Es torna a posar la variable de si entra a fals
        end
    end
end

xlswrite('Iteracióv0Alfa.xls', Dades, 'Iter', 'A1'); % S'exporten les dades
dels llançaments que han entrat a un document Excel

'FINAL PROGRAMA'

```

Figura F.1 Codi en *Matlab* del programa principal del càlcul massiu de dades, per a llançaments sense efecte.

```

function funcio_model(v0, alfa, posicio, Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat)
%% INICIALIZACIÓ
close all

% Es passa la velocitat a [m/s] i alfa a [rad]
v0 = v0/3.6; % Velocitat de sortida de la pilota v0
alfa = alfa*pi/180; % Angle ALFA

```

```

% Capçalera pel document Excel que exportarà dades
Dades = {'i' 'vx' 'vy' 'vz' 'x' 'y' 'z' 'ax' 'ay' 'az' 'alfa_pilota'
'beta_pilota' 'v0' 'vx0' 'vy0' 'vz0'};

%% MALLAT
% Excel_Mallat_Coord té els "números" del mallat
% Excel_Mallat_Codis té les "lletres" del mallat
coordx_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,1); % Cell amb les coordenades X de totes
les opcions
coordy_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,2); % Cell amb les coordenades Y de totes
les opcions
codi_element_mallat = Excel_Mallat(:,12:14); % Cell que conté columna amb el
codi, columna amb l'índex de l'element i l'alçada corresponent

for k = 1:66
    tf = strcmp(codi_element_mallat{k,1}, posicio); % Compara l'string del codi
amb el del mallat
    if tf % Quan trobi la fila de "codi_element_mallat" que coincideixi amb el
codi de posició donat
        index_element = codi_element_mallat{k,2}; % Dóna l'índex pel codi donat
        z0 = codi_element_mallat{k,3}; % Defineix l'alçada segons el codi
introduït
        end
    end

%% VALORS INICIALS
x0 = 0; y0 = 0; % Condicions inicial - Posició llançadora [m]
omega_y = 0.01*pi/30; omega_z = 0*pi/30; % Efectes [rad/s] (y: +lift/-tall, z:
lateral)
ax0 = 0; ay0 = 0; az0 = -9.80665; % Acceleracions inicials [m/s^2]

%% DADES FIXES
m = 0.056; % Massa d'una pilota de tennis [kg]
r = 0.033; % Radi d'una pilota de tennis [m]
cd = 0.507; cl = 0.2; % Coeficients de drag i lift [-]
d_aire = 1.22; % Densitat de l'aire [kg/m^3]

%% POSICIÓ DESITJADA DEL BOT
% S'utilitza "index_element" per trobar les dades de la posició
x_bot = coordx_mallat(index_element); % Coordenada x del bot
y_bot = coordy_mallat(index_element); % Coordenada y del bot
beta = atan(y_bot/x_bot); % Angle BETA de la màquina [rad]

%% CÀLCULS PRINCIPALS
% Activació de les variables inicials
x = x0; y = y0; z = z0; % S'inicialitza la posició a la corresponent a la
màquina
ax = ax0; ay = ay0; az = az0; % S'inicialitza l'acceleració
dt = 0.002; % Pas d'integració considerat
i = 2; % Comptador per a escriure al Excel
Passa = false; % Variable per determinar si passa la xarxa

% Parteix amb la velocitat v0, que es descomposa en els eixos X, Y i Z
vx0 = v0*cos(beta)*cos(alfa);
vy0 = v0*sin(beta)*cos(alfa);
vz0 = v0*sin(alfa);

for t = 0:dt:1.5 % Iteració que realitza la integració
    if z-r > 0 % Per tal de considerar el punt extern de la pilota, no el
centre
        % Actualització de les velocitats en X, Y i Z
        vx = vx0 + ax*dt; vy = vy0 + ay*dt; vz = vz0 + az*dt;
        % Actualització de les coordenades
        x = x + vx*dt; y = y + vy*dt; z = z + vz*dt;
        % Preparació del producte vectorial de velocitat de rotació per
        % velocitat

```

```

v_vector = [vx vy vz];
w_vector = [0 omega_y omega_z];
% Preparació del mòdul de la velocitat
v = norm(v_vector);
w_x_v = norm(cross(w_vector,v_vector));
% Càlcul de l'acceleració en cada component
ax = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*v*vx+cl*r*v*(1/w_x_v)*(omega_y*vz-
omega_z*vy)));
ay = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*v*vy-cl*r*omega_z*vx*(1/w_x_v)));
az = 1/m*(-m*9.80665-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*v*vz+cl*r*v*(1/w_x_v)*(-
omega_y*vx)));
% S'afegeix a la cell "Dades" les corresponents a la iteració
Dades(i,:) = {i vx vy vz x y z ax ay az alfa beta v0 vx0 vy0 vz0};
i = i + 1; % S'actualitza el comptador per a exportar les dades
% Condició de que la pilota passi la xarxa
if x >= 11.8 && x <= 11.9 % Es considera un rang de X per a la xarxa
    % Càlcul de l'alçada de la xarxa per a la coordenada Y
    h = 0.914+((1.07-0.914)*y*(y+5.485)/(2*5.485^2))+((1.07-
0.914)*y*(y-5.485)/(2*5.485^2));
    if z-r < h
        Passa = false;
        % 'NO PASSA LA XARXA'
        break
    end
    Passa = true;
end
if abs(x) > 23.78 || abs(y) > 5.485
    break
end
vx0 = vx; vy0 = vy; vz0 = vz;
else
    % 'TOCA EL TERRA'
    break
end
end

%% EXPORTAR DADES
% Comprovem si la pilota cau dins de l'element i aleshores exportem
if Passa
    % Obtenim les coordenades de l'element
    Coord_Element_X = Excel_Mallat_Coord(:,4:7);
    Coord_Element_Y = Excel_Mallat_Coord(:,8:11);
    Element_X = Coord_Element_X(index_element,:); % [X_A, X_B, X_C, X_D]
    Element_Y = Coord_Element_Y(index_element,:); % [Y_A, Y_B, Y_C, Y_D]

    Entra = inpolygon(x, y, Element_X, Element_Y); % true si coordenades x i y
    són dins de l'element
    if Entra
        Dades_tir_correcte = {posicio v0*3.6 alfa*180/pi beta*180/pi x y
omega_y*30/pi omega_z*30/pi};
        assignin('base', 'Dades_tir_correcte', Dades_tir_correcte);
        assignin('base', 'Entra', Entra);
    end
end
end

```

Figura F.2 Codi en *Matlab* de la funció que calcula un llançament i emprada pel càlcul massiu de dades, per a llançaments sense efecte.

```

%% PARÀMETRES
posicio = 'C50'; % Posició desitjada on es vol que boti la pilota

%% VARIABLES SECUNDÀRIES
Dades = {'Codi' 'v0' 'alfa' 'beta' 'x_bot' 'y_bot' 'Omega_y' 'Omega_z'};
Entra = false; % Variable per a determinar si el llançament calculat entra

```



```

j = 2; % Comptador per a exportar dades a un document Excel
efecte = [1000 2000 -1000 -2000]; % Valors per les velocitats de rotació

%% MALLAT
mallat = 'Mallat de punts.xls'; % Excel amb dades sobre el mallat del disseny
[Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat_Codis, Excel_Mallat] = xlsread(mallat,
'Mallat_Valors');
% Excel_Mallat_Coord és cell que conté només números
% Excel_Mallat_Codis és cell que només conté el text
% Excel_Mallat és cell i conté totes les dades de l'Excel
Codi_Posicio_Mallat = Excel_Mallat(:,12:13); % Cell per a identificar el codi
donat de posició

for k = 1:66
    tf = strcmp(Codi_Posicio_Mallat{k,1}, posicio); % Compara l'string del codi
    amb el del mallat
    if tf
        index_elem = Codi_Posicio_Mallat{k,2}; % Dóna l'índex pel codi donat
    end
end

%% Càlcul Principal.

for ef = 1:1:4 % Índex per establir la velocitat de rotació
    for v0 = 40:1:160 % Iteració per la velocitat de sortida v0
        for alfa = 0:1:30 % Iteració per angle ALFA
            % Quan omega_y = 0: efecte lateral positiu i lateral negatiu
            % Quan omega_z = 0: efecte liftat i tallat
            omega_z = efecte(ef);
            omega_y = 0;
            % Crida de la funcio_model
            funcio_model_efecte(v0, alfa, posicio, omega_y, omega_z,
Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat)
            if Entra % Condició de si el llançament entra
                Dades(j,:) = Dades_tir_correcte; % Variable Dades_tir_correcte
                és l'exportat de la funcio_model
                j = j + 1; % Incrementa el comptador per a l'exportació de
                Dades
                Entra = false; % Es torna a posar la variable de si entra a
                fals
            end
        end
    end
end
xlswrite('IteracióEfectev0Alfa.xls', Dades, 'Iter', 'A1'); % S'exporten les
dades dels llançaments que han entrat a un document Excel
'Final'

```

Figura F.3 Codi en *Matlab* del programa principal del càlcul massiu de dades, per a llançaments amb efecte.

```

function funcio_model_efecte(v0, alfa, posicio, omega_y, omega_z,
Excel_Mallat_Coord, Excel_Mallat)
%% INICIALIZACIÓ
close all

% Es passa la velocitat a [m/s], alfa a [rad] i efecte a [rad/s]
v0 = v0/3.6;
alfa = alfa*pi/180;
omega_y = omega_y*pi/30;
omega_z = omega_z*pi/30;

% Capçalera pel document Excel que exportarà dades
Dades = {'i' 'vx' 'vy' 'vz' 'x' 'y' 'z' 'ax' 'ay' 'az' 'alfa_pilota'

```

```

'beta_pilota' 'v0' 'vx0' 'vy0' 'vz0'};

%% MALLAT
% Excel_Mallat_Coord té els "números" del mallat
% Excel_Mallat_Codis té les "lletres" del mallat
coordx_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,1); % Cell amb les coordenades X de totes
les opcions
coordy_mallat = Excel_Mallat_Coord(:,2); % Cell amb les coordenades Y de totes
les opcions
codi_element_mallat = Excel_Mallat(:,12:14); % Cell que conté columna amb el
codi, columna amb l'index de l'element i l'alçada corresponent

for k = 1:66
    tf = strcmp(codi_element_mallat{k,1}, posicio); % Compara l'string del codi
amb el del mallat
    if tf % Quan trobi la fila de "codi_element_mallat" que coincideixi amb el
codi de posició donat
        index_element = codi_element_mallat{k,2}; % Dóna l'índex pel codi donat
        z0 = codi_element_mallat{k,3}; % Defineix l'alçada segons el codi
introduït
    end
end

%% VALORS INICIALS
x0 = 0; y0 = 0; % Condicions inicial - Posició llançadora [m]
ax0 = 0; ay0 = 0; az0 = -9.80665; % Acceleracions inicials [m/s^2]

%% DADES FIXES
m = 0.056; % Massa d'una pilota de tennis [kg]
r = 0.033; % Radi d'una pilota de tennis [m]
cd = 0.507; cl = 0.2; % Coeficients de drag i lift [-]
d_aire = 1.22; % Densitat de l'aire [kg/m^3]

%% POSICIÓ DESITJADA DEL BOT
% S'utilitza "index_element" per trobar les dades de la posició
x_bot = coordx_mallat(index_element); % Coordenada x del bot
y_bot = coordy_mallat(index_element); % Coordenada y del bot
beta = atan(y_bot/x_bot); % Angle BETA de la màquina [rad]

%% CÀLCULS PRINCIPALS
% Activació de les variables inicials
x = x0; y = y0; z = z0; % S'inicialitza la posició a la corresponent a la
màquina
ax = ax0; ay = ay0; az = az0; % S'inicialitza l'acceleració
dt = 0.002; % Pas d'integració considerat
i = 2; % Comptador per a escriure al Excel
Passa = false; % Variable per determinar si passa la xarxa

% Parteix amb la velocitat v0, que es descomposa en els eixos X, Y i Z
vx0 = v0*cos(beta)*cos(alfa);
vy0 = v0*sin(beta)*cos(alfa);
vz0 = v0*sin(alfa);

for t = 0:dt:1.5 % Iteració que realitza la integració
    if z-r > 0 % Per tal de considerar el punt extern de la pilota, no el
centre
        % Actualització de les velocitats en X, Y i Z
        vx = vx0 + ax*dt; vy = vy0 + ay*dt; vz = vz0 + az*dt;
        % Actualització de les coordenades
        x = x + vx*dt; y = y + vy*dt; z = z + vz*dt;
        % Preparació del producte vectorial de velocitat de rotació per
        % velocitat
        v_vector = [vx vy vz];
        w_vector = [0 omega_y omega_z];
        % Preparació del mòdul de la velocitat
        v = norm(v_vector);
    end
end

```

```

w_x_v = norm(cross(w_vector,v_vector));
% Càlcul de l'acceleració en cada component
ax = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vx+cl*r*v*(1/w_x_v)*(omega_y*vz-
omega_z*vy)));
ay = 1/m*(-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vy-cl*r*omega_z*vx*(1/w_x_v)));
az = 1/m*(-m*9.80665-0.5*d_aire*pi*r^2*(cd*v*vz+cl*r*v*(1/w_x_v)*(-
omega_y*vx)));
% S'afegeix a la cell "Dades" les corresponents a la iteració
Dades(i,:) = {i vx vy vz x y z ax ay az alfa beta v0 vx0 vy0 vz0};
i = i + 1; % S'actualitza el comptador per a exportar les dades
% Condició de que la pilota passi la xarxa
if x >= 11.8 && x <= 11.9 % Es considera un rang de X per a la xarxa
    % Càlcul de l'alçada de la xarxa per a la coordenada Y
    h = 0.914+((1.07-0.914)*y*(y+5.485)/(2*5.485^2))+((1.07-
0.914)*y*(y-5.485)/(2*5.485^2));
    if z-r < h
        Passa = false;
        'NO PASSA LA XARXA'
    end
    break
    Passa = true;
end
if abs(x) > 23.78 || abs(y) > 5.485
    break
end
vx0 = vx; vy0 = vy; vz0 = vz;
else
    'TOCA EL TERRA'
    break
end
end

%% EXPORTAR DADES
% Comprovem si la pilota cau dins de l'element i aleshores exportem
if Passa
    % Obtenim les coordenades de l'element
    Coord_Element_X = Excel_Mallat_Coord(:,4:7);
    Coord_Element_Y = Excel_Mallat_Coord(:,8:11);
    Element_X = Coord_Element_X(index_element,:); % [X_A, X_B, X_C, X_D]
    Element_Y = Coord_Element_Y(index_element,:); % [Y_A, Y_B, Y_C, Y_D]

    Entra = inpolygon(x, y, Element_X, Element_Y); % true si coordenades x i y
    són dins de l'element
    if Entra
        Dades_tir_correcte = {posicio v0*3.6 alfa*180/pi beta*180/pi x y
omega_y*30/pi omega_z*30/pi};
        assignin('base', 'Dades_tir_correcte', Dades_tir_correcte);
        assignin('base', 'in', Entra);
    end
end
end

```

Figura F.4 Codi en *Matlab* de la funció que calcula un llançament i emprada pel càlcul massiu de dades, per a llançaments amb efecte.

Annex G. Codi de l'app programada en MIT App Inventor

A la Figura G.1 s'observa la pantalla inicial i la notificació que hi apareix al prémer el botó "Inicia sincronització". La programació realitzada consisteix en que al prémer el botó mencionat aparegui la notificació i que al prémer "OK" es passi a la següent pantalla ("Screen3").

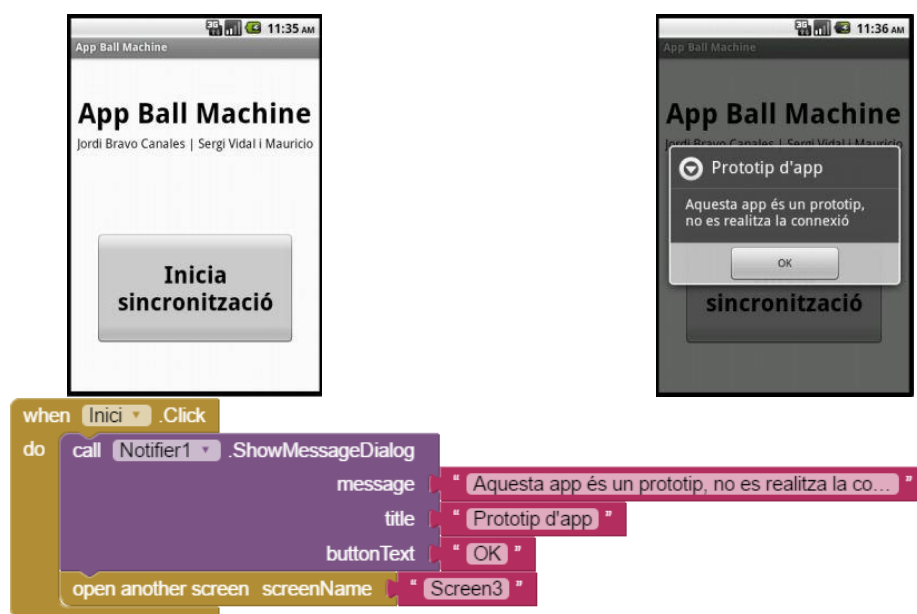


Figura G.1 Programació pantalla inicial amb MIT App Inventor.

A la Figura G.2 es treballa amb el menú principal de l'app on es mostren les possibilitats que aporta aquesta interfase. Es donen tres opcions: configurar jugades (el jugador pot configurar uns quants llançaments segons el seu criteri), escollir programa (es donen unes poques opcions per tal d'escollir programes preinstal·lats), practicar llançament (el jugador configura un tipus de llançament que desitjaria practicar).

La programació d'aquest menú s'ha realitzat mitjançant un botó per a cada opció. Degut a que per les opcions de configurar jugades i de practicar llançaments es procedirà a configurar llançaments, ambdues opcions tenen com a destí la pantalla "Screen4". Es distingirà l'elecció feta mitjançant una variable anomenada "Practica" emmagatzemada a una base de dades interna de l'app, la variable prendrà el valor lògic fals quan s'hagi escollit configurar jugades i prendrà el valor cert per la opció de practicar llançaments. Respecte la opció d'escollir programa, es connecta el botó a la pantalla "Screen9".



Figura G.2 Programació del menú principal amb MIT App Inventor.

A la pantalla “Screen4” (Figura G.3) comença la configuració d’un llançament, tal i com s’ha mencionat prèviament el jugador pot estar configurant un llançament per practicar-lo o bé està configurant uns quants llançaments. La configuració comença amb l’elecció d’un paràmetre que condiciona tota la resta, aquest és el tipus de llançament: servei o tir de camp. Respecte la màquina, el tipus de llançament implicarà la diferència de les dues posicions d’alçada; respecte les dades, el mallat de cada tipus de llançament és diferent, així com els nivells de dificultat establerts.

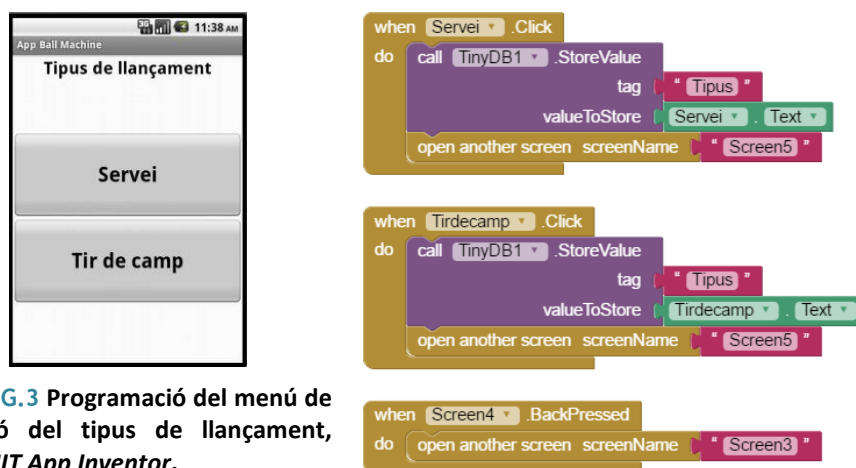


Figura G.3 Programació del menú de selecció del tipus de llançament, amb MIT App Inventor.

La programació d’aquesta pantalla s’ha realitzat amb dos botons que al prémer un o altre, l’elecció queda enregistrada a la variable “Tipus” que s’emmagatzema a la base de dades interna de l’*app*. Pels dos botons, el destí és el de la pantalla “Screen5”. En aquesta pantalla destacar la programació del botó de retorn del telèfon mòbil, tal que si es prem es retorna a la pantalla “Screen3” corresponent al menú principal.

Un cop seleccionat el tipus de llançament es procedeix a realitzar l'elecció de la posició on es vol que la pilota boti, com cada tipus té un mallat diferent cal diferenciar l'elecció feta a la pantalla anterior.



Figura G.4 Selecció de la posició on es desitja que boti la pilota, amb *MIT App Inventor*.

A la Figura G.4 s'observa les dues pantalles possibles que poden aparèixer amb els dos possibles mallats. També, a la Figura G.4 s'inclou la pantalla resultant de prémer al botó "Selecció" on apareix un llistat on s'escull la posició desitjada segons s'ha vist en el mallat.

A la Figura G.5 es mostra la programació darrera de l'elecció de la posició on ha de botar la pilota. Com la variable "Tipus" conté el tipus de llançament seleccionat pel jugador, aquesta informació s'obté en aquesta pantalla com a una variable global del mateix nom i fent una crida a la base de dades interna de l'*app*.

Es planteja una estructura condicionant del tipus *if* per tal d'establir les dues alternatives segons quin sigui el tipus de llançament seleccionat. Per a cada alternativa, el primer que es fa és procedir a escollir la imatge que apareix en pantalla, que ha de correspondre al mallat del tipus seleccionat. Després es prepara el llistat de selecció, pels serveis la llista és una enumeració fins el número 16 i pels tirs de camp fins el 50.

Finalment, l'elecció feta del llistat mostrat en pantalla es guarda a la base de dades interna amb la variable "Posicio".

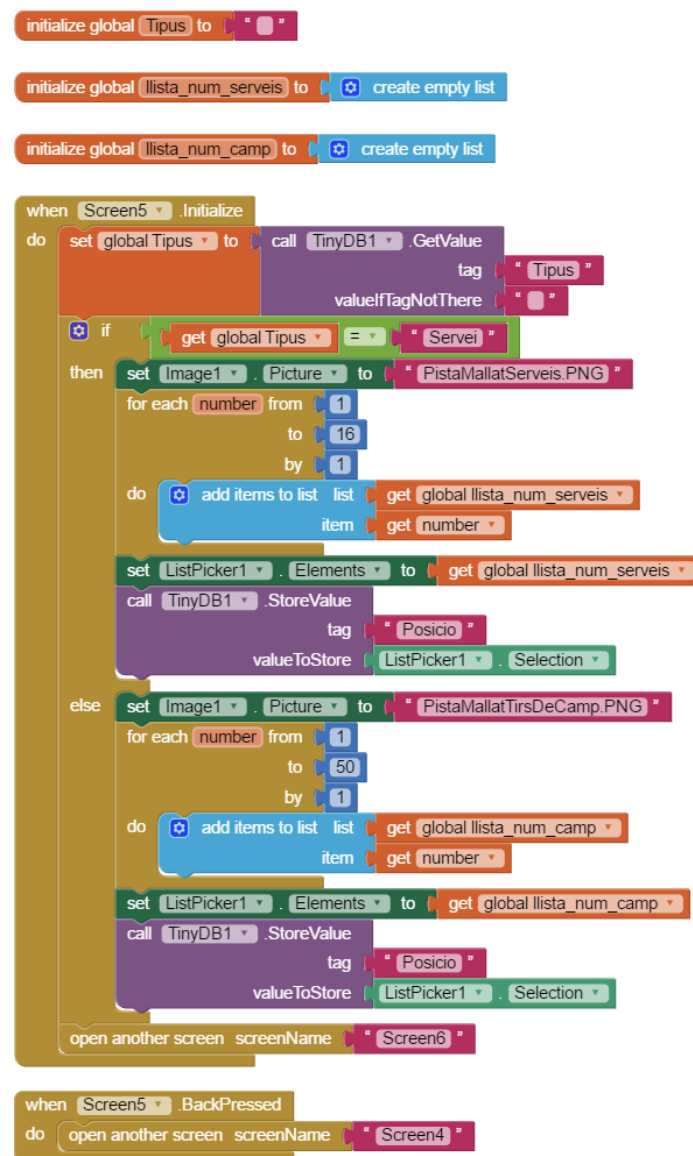


Figura G.5 Programació de la selecció de posició on es desitja que boti la pilota, amb *MIT App Inventor*.

El següent pas, és el de seleccionar el nivell de dificultat. Aquesta selecció dependrà del tipus de llançament, i en el cas dels tirs de camp, també de la posició escollida.

A la Figura G.6 es mostra com s'ha optat per un botó que dóna pas a un llistat amb les opcions de dificultat disponibles corresponents al cas en el que s'estigui.

Respecte la programació (Figura G.7), és necessari treballar amb les variables "Tipus" i "Posicio", de tal manera que inicialment es recuperen des de la base de dades interna. Les variables "Pos_Camp_NORMFLUIXJUNIOR" i "Pos_Camp_NORMFLUIX" s'utilitzen com a llistes que contenen les posicions pels tirs de camp on la disponibilitat dels nivells

de dificultat és, respectivament, llançament normal, flux i junior, i llançament normal i flux.

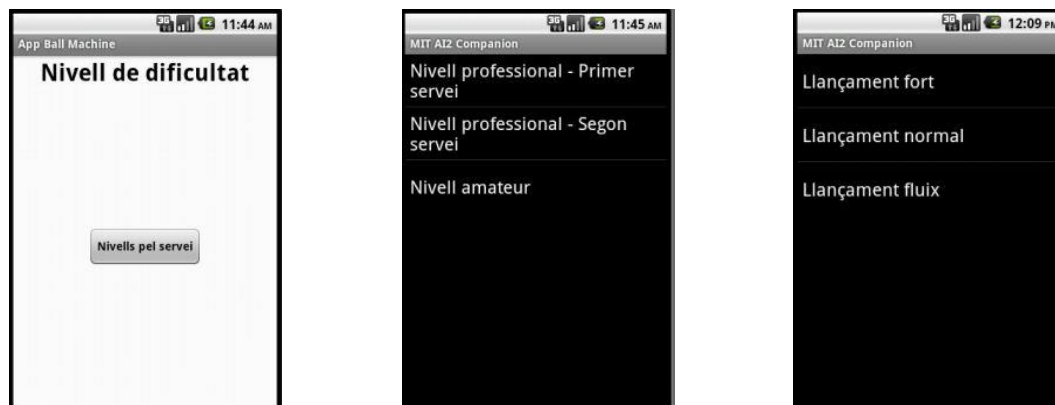


Figura G.6 Selecció del nivell de dificultat del llançament, amb MIT App Inventor.

Les dades d'aquestes llistes s'ha optat que s'obtinguin d'un arxiu .csv carregat a la app, cada arxiu conté una fila amb les dades de disponibilitat.

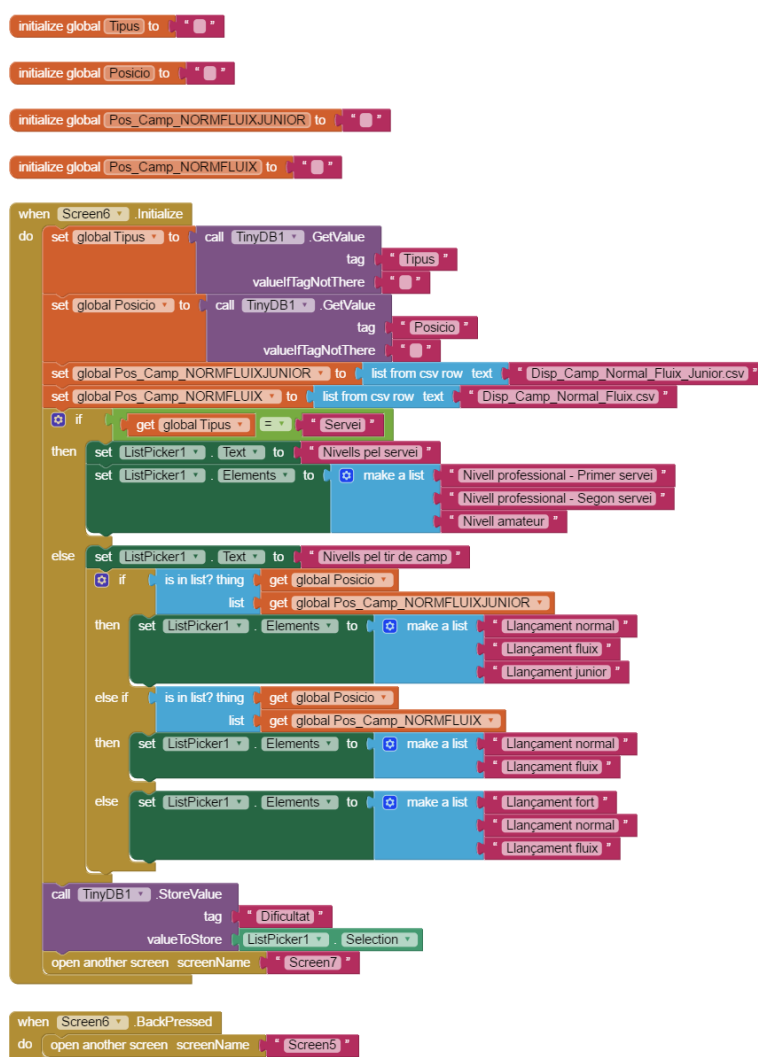


Figura G.7 Programació de la selecció del nivell de dificultat, amb MIT App Inventor.

A la programació de la Figura G.7 es pot observar com es fa ús d'una estructura del tipus *if*, per tal de diferenciar el cas d'un llançament de tipus servei o de tipus tir de camp.

Pel cas d'un servei, s'estableix que en el botó aparegui el text "Nivells pel servei" i el llistat sigui:

- Nivell professional – Primer servei
- Nivell professional – Segon servei
- Nivell amateur

Pel cas d'un tir de camp, s'estableix el text del botó a "Nivells pel tir de camp" i aleshores es comprova mitjançant una estructura de tipus *if* la disponibilitat dels nivells segons la posició escollida. Amb aquest objectiu, s'utilitzen blocs del tipus "is in list?" tal que permet determinar si la variable "Posicio" es troba dins de les llistes "Pos_Camp_NORMFLUIXJUNIOR" o "Pos_Camp_NORMFLUIX", si no es troba dins de cap d'aquestes llistes, els nivells disponibles són:

- Llançament fort
- Llançament normal
- Llançament fluix

Finalment, la selecció en el llistat de nivells de dificultat s'emmagatzema a la base de dades interna amb la variable "Dificultat".

L'últim paràmetre a escollir del llançament és l'efecte desitjat, a la Figura G.8 s'observa com es mostren les opcions:

- Cap
- Liftat
- Tallat
- Lateral positiu
- Lateral negatiu

S'ha programat tal que al prémer la opció de cap efecte, s'emmagatzemi a la variable "Efecte" el valor "Cap" i com a "Nivell Efecte" el valor "Nivell 0". La resta d'efectes s'han

configurat tal que al prémer el nom de l'efecte apareguin dues opcions corresponents a la intensitat de l'efecte: nivell 1 o nivell 2. També s'emmagatzemen les dades respectives en les variables "Efecte" i "Nivell Efecte".

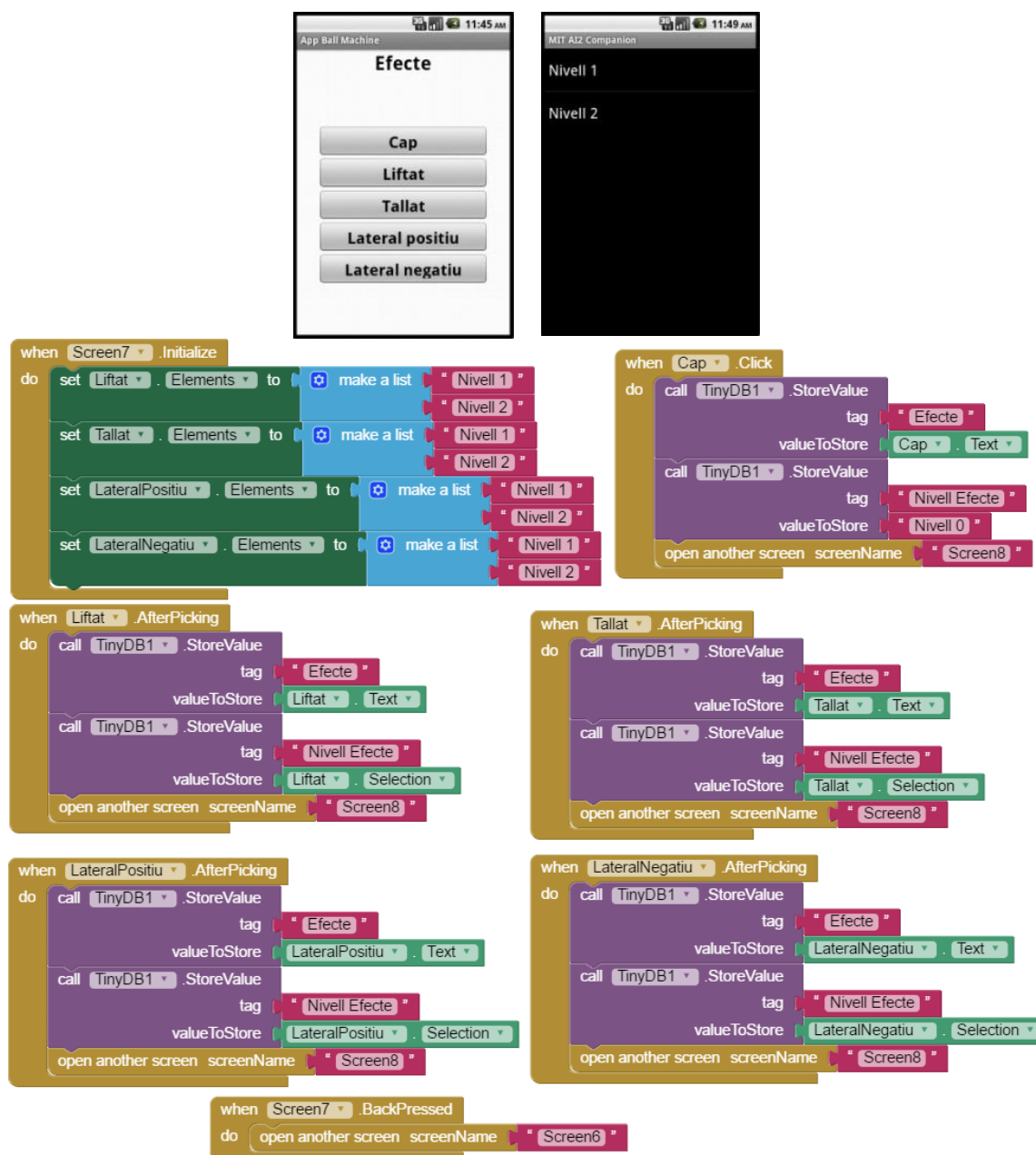


Figura G.8 Programació del menú de selecció d'efecte del llançament, amb *MIT App Inventor*.

A la Figura G.9 es mostra la programació corresponent a l'exportació de les dades de la base de dades interna de l'app a un fitxer .csv. Aquesta pantalla té un comportament diferent segons s'hagi seleccionat al menú principal la opció de configurar jugades o de practicar llançament.

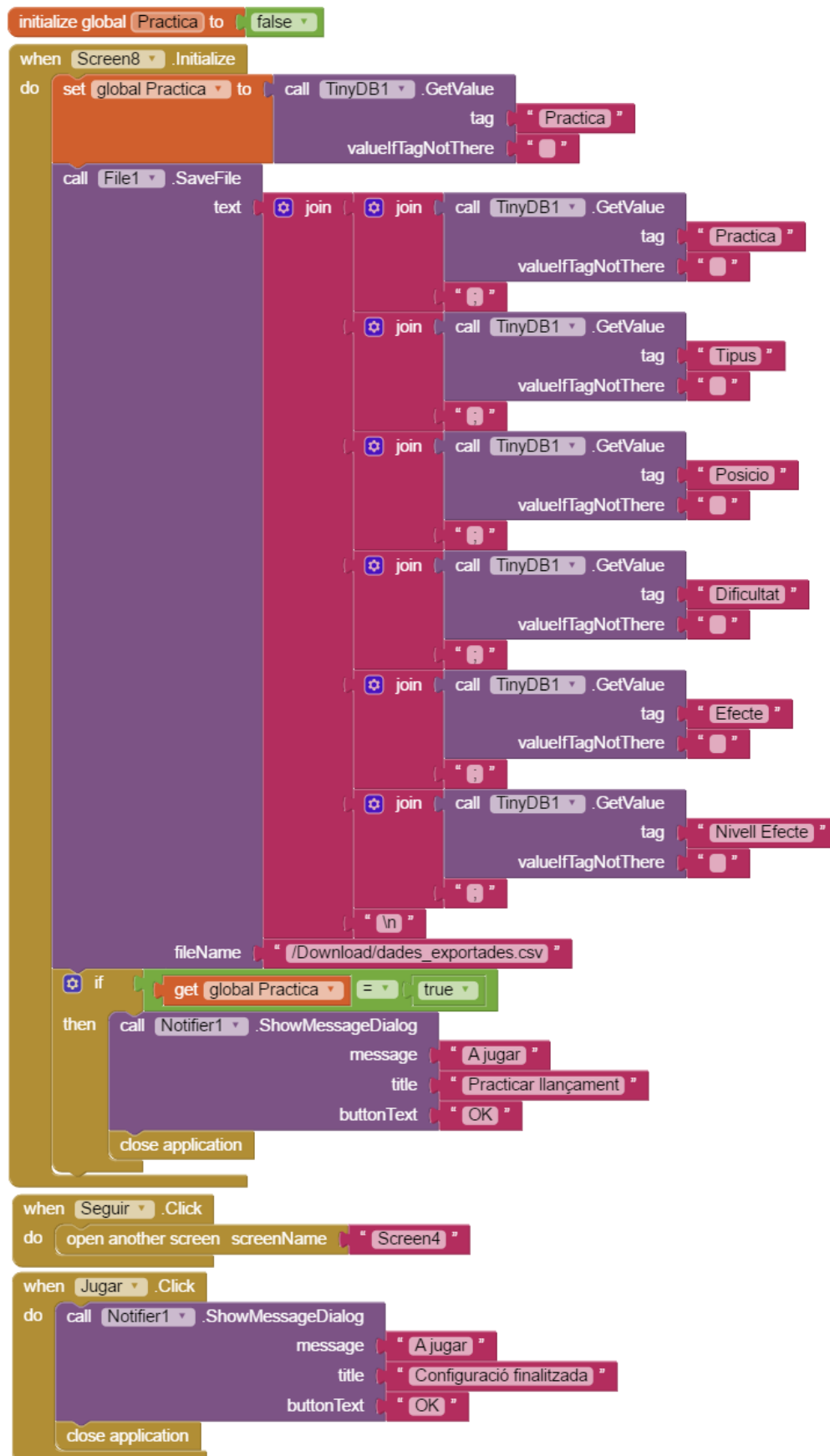


Figura G.9 Programació de l'exportació de la configuració del llançament, amb MIT App Inventor.

La programació s'inicia amb la crida de la variable "Practica", que diferencia si es prové de les opcions del menú principal de configurar jugades o practicar llançament. Les dades que contenen les variables "Practica", "Tipus", "Posicio", "Dificultat", "Efecte" i "Nivell Efecte" s'ajunten com a cadenes de caràcters (*string*) separant cada concepte amb un punt i coma.

Al final de cada exportació de dades es desitja que hi hagi un salt de línia, per aquest motiu després de les dades ja mencionades, s'afegeix el terme "\n" que realitza el salt.

Si es prové de la opció de practicar llançament, la variable "Practica" té el valor lògic de *true* i a la pantalla no es permetrà la possibilitat de prémer els botons de la Figura G.10. En canvi, apareixerà una notificació anunciant que es procedeix a jugar, aquesta notificació s'ha configurat per tal que al acceptar-la es tanqui l'aplicació.



Figura G.10 Esquerra: Menú final de la configuració del llançament. Dreta: Notificació anunciant que es procedeix a jugar. Amb MIT App Inventor.

Pels casos de "Practica" amb valor lògic fals, es té la opció de seguir configurant on es redirigeix a la pantalla "Screen4" on s'inicia una nova configuració de llançament. Si, en canvi, es decideix jugar apareix una notificació anunciant que procedeix a jugar i es tanca l'aplicació.

L'altra alternativa del menú principal (Figura G.2) correspon a escollir un programa preinstal·lat. En aquesta alternativa es dóna la opció de seleccionar el nivell de dificultat i d'intensitat.

A la Figura G.11 es mostra la programació i el menú per a la selecció del nivell de dificultat. Correspon a tres botons programats de tal manera que s'emmagatzemi a la base de dades interna, amb la variable "Programa_dificultat", la selecció feta.

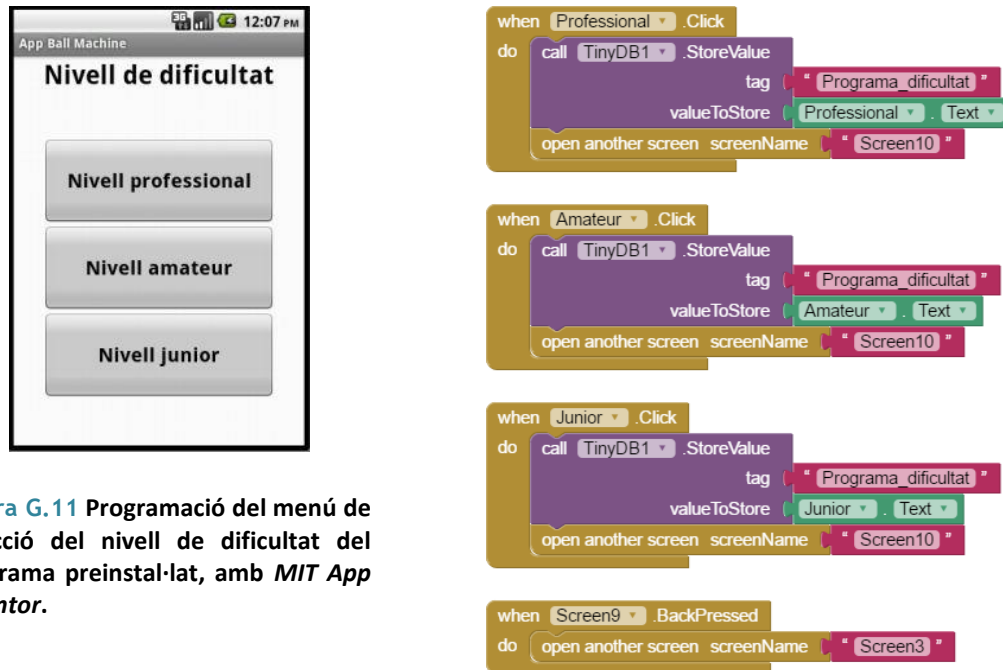


Figura G.11 Programació del menú de selecció del nivell de dificultat del programa preinstal·lat, amb MIT App Inventor.

A la Figura G.12 es mostra el menú de selecció del nivell d'intensitat així com la programació corresponent. Es crida la variable "Programa_dificultat" per tal d'escriure-la a un arxiu .csv, el format de l'arxiu serà el mateix que en el de configuració de llançaments, tal que cada concepte va separat per un punt i coma. La dada sobre la intensitat del programa s'afegirà al .csv segons el botó que s'hagi premut.

El jugador veurà en pantalla un cop seleccionada la intensitat del programa, una notificació anunciant que es procedeix a jugar i al acceptar es tancarà l'aplicació.

Un cop l'aplicació es tanca la *app* hauria d'enviar l'arxiu .csv exportat a la màquina per tal que realitzés la consulta a la base de dades i aleshores ja tingués els paràmetres per tal d'executar els llançaments.

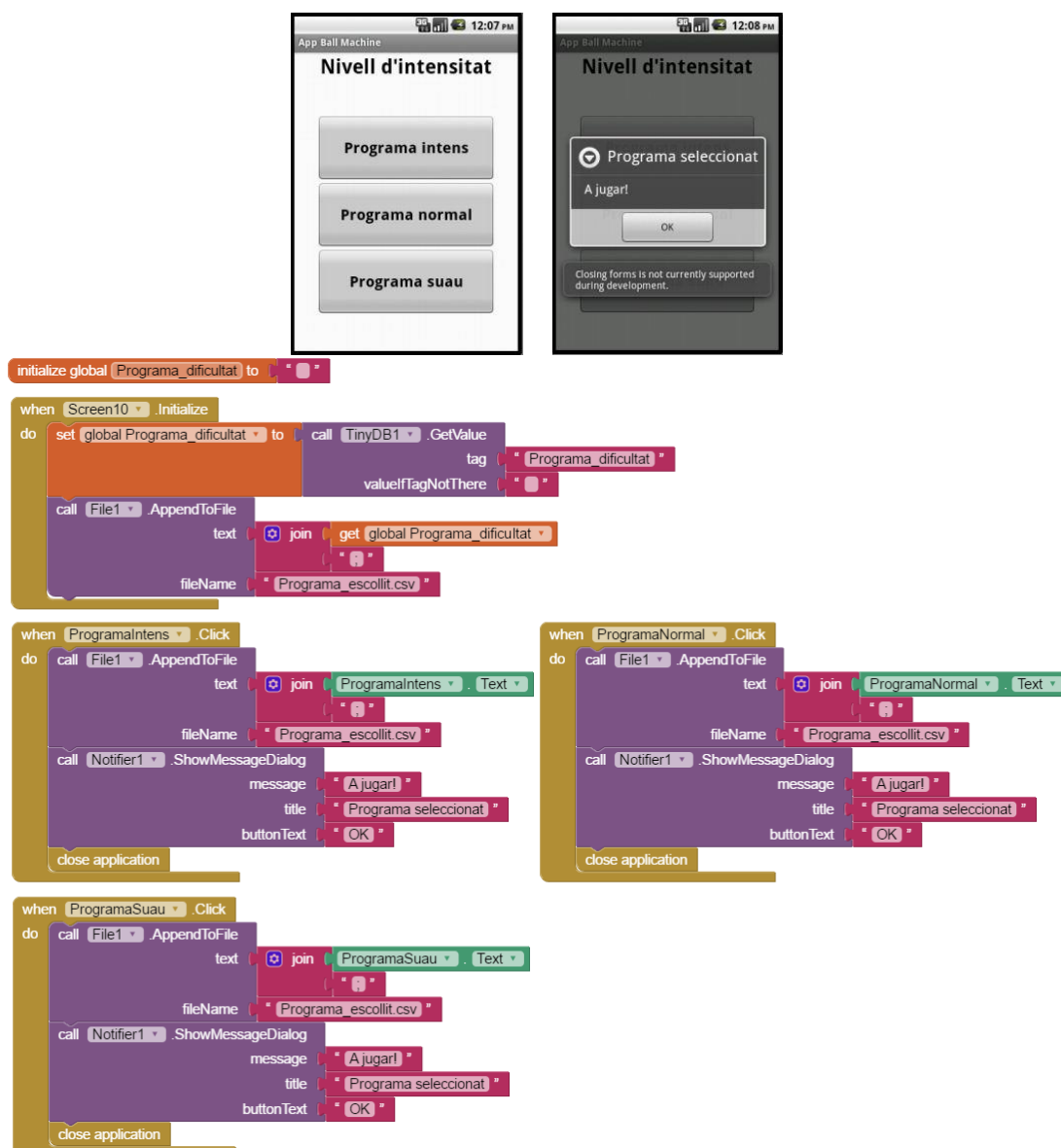


Figura G.12 Programació de l'exportació del programa preinstal·lat escollit, amb *MIT App*

Annex H. Codi del programa del nucli de control en Python

```

## IMPORTACIÓ MÒDULS
import sqlite3
import random
import csv
import math

## FUNCIÓ PRINCIPAL
def main():
    nom_fitxer_dades = 'Prova_dades_interfase.csv'
    f = open(nom_fitxer_dades) # S'obre el fitxer .csv
    reader = csv.reader(f) # Es llegeix fitxer .csv
    j = 1 # Comptador de llançaments al fitxer
    for fila in reader: # Iteració per cada fila del fitxer
        if nom_fitxer_dades == 'Prova_dades_interfase.csv': # Quan és selecció
de llançaments
            # Es guarda en variables cada element de la configuració del
llançament
            (dada_practica, dada_tipus, dada_posicio, dada_nomenclatura,
dada_efecte, dada_nivell_efecte) = tupla_fila
            # S'obté v0, alfa i beta
            (v0, alfa, beta) = v0_alfa_beta(dada_nomenclatura, dada_efecte,
dada_nivell_efecte, dada_posicio, dada_tipus)
            # S'obté confirmació de si cal elevar la màquina
            elevat = elevacio(dada_tipus)
            if elevat: # Per mostrar en pantalla el concepte d'elevació
                text_elevat = "Si"
            else:
                text_elevat = "No"
            # Bloc per mostrar en pantalla
            print("{} - Número del llançament dins de la tanda".format(j))
            print("Llançament de velocitat {} km/h, angle alfa de {}°, angle
beta de {}°.".format(v0, alfa, beta))
            print("La màquina ha d'estar elevada? {}".format(text_elevat))
            (w_sup, w_esq, w_dre) = gir_politges(v0, dada_efecte,
dada_nivell_efecte)
            print("Politja superior: {:.2f}, politja esquerra: {:.2f}, politja
dreta: {:.2f}".format(w_sup, w_esq, w_dre))
            politges_rpm = [w_sup*30/math.pi, w_esq*30/math.pi,
w_dre*30/math.pi]
            print("En rpms és, respectivament: {:.2f}, {:.2f} i
{:.2f}".format(*politges_rpm))
            j = j + 1 # Actualització del comptador
            # Per mostrar en pantalla els casos de pràctica de llançaments
            if dada_practica == 'true': # De l'arxiu exportat, el bool és un
string
                print("El llançament és per practicar, es repeteix 10 cops")
                print("\n") # Fa un salt de línia a la pantalla
            else: # Quan és programa
                # Es guarda en variables la selecció feta del programa
                (programa_dificultat, programa_intensitat) = tupla_fila
                # Es crea diccionari que enllaça cada combinació de selecció de
programa amb l'arxiu que conté la tanda preprogramada
                programes_preinst = {("Nivell professional", "Programa intens"):
"prog_pro_intens.csv", ("Nivell professional", "Programa normal"):
"prog_pro_normal.csv", ("Nivell professional", "Programa suau"):
"prog_pro_suau.csv", ("Nivell amateur", "Programa intens"):
"prog_amateur_intens.csv", ("Nivell amateur", "Programa normal"):
"prog_amateur_normal.csv", ("Nivell amateur", "Programa suau"):
"prog_amateur_suau.csv", ("Nivell junior", "Programa intens"):
"prog_junior_intens.csv", ("Nivell junior", "Programa normal"):
"prog_junior_normal.csv", ("Nivell junior", "Programa suau"):
"prog_junior_suau.csv"}

```



```

        # Es fa la cerca del programa preinstal·lat
        nom_fitxer_programa = programes_preinst[(programa_dificultat,
programa_intensitat)]
        f_prog = open(nom_fitxer_programa) # S'obre el fitxer .csv
        reader_prog = csv.reader(f_prog) # Es llegeix fitxer .csv
        k = 1 # Comptador de llançaments del programa
        for fila_prog in reader_prog: # Iteració de cada fila del fitxer
            contingut_fila_prog = fila_prog[0] # fila_prog és list d'un
element string
            llista_fila_prog = contingut_fila_prog.split(';') # Es separa
contingut en una llista de strings
            tupla_fila_prog = tuple(llista_fila_prog) # Es fa tupla
            # Es guarda en variables la configuració del llançament
            (dada_practica, dada_tipus, dada_posicio, dada_nomenclatura,
dada_efecte, dada_nivell_efecte) = tupla_fila_prog
            # S'obté v0, alfa i beta
            (v0, alfa, beta) = v0_alfa_beta(dada_nomenclatura, dada_efecte,
dada_nivell_efecte, dada_posicio, dada_tipus)
            # S'obté confirmació de si cal elevar la màquina
            elevat = elevacio(dada_tipus)
            # Es calcula les velocitats de les politges
            (w_sup, w_esq, w_dre) = gir_politges(v0, dada_efecte,
dada_nivell_efecte)
            # Bloc per mostrar en pantalla
            print("{} - Número del llançament dins del programa".format(k))
            print("Velocitat: {} km/h, angle alfa: {}°, angle beta: {}°,
elevació: {}".format(v0, alfa, beta, elevat))
            print("Politja superior: {:.2f}, politja esquerra: {:.2f},
politja dreta: {:.2f}".format(w_sup, w_esq, w_dre))
            politges_rpm = [w_sup*30/math.pi, w_esq*30/math.pi,
w_dre*30/math.pi]
            print("En rpms és, respectivament: {:.2f}, {:.2f} i
{:.2f}".format(*politges_rpm))
            k = k + 1 # Actualitzador del comptador
            print("\n") # Fa un salt de línia
            f_prog.close() # Es tanca el fitxer del programa
        f.close() # Es tanca el fitxer

## FUNCIO PER OBTENIR VELOCITAT DE SORTIDA, ANGLE ALFA I ANGLE BETA
def v0_alfa_beta(nomenclatura, efecte, nivell_efecte, posicio, tipus):
    # nomenclatura és string de "Nomenclatura"
    # efecte és string de "Efecte aplicat"
    # nivell_efecte és string de "Nivell efecte"
    # posicio és string de "Codi bot", només conté el número
    # tipus és string de "Tipus"
    conn = sqlite3.connect('DB_Tennis.db') # Es connecta a la base de dades
    c = conn.cursor() # Es crea el cursor

    if tipus == 'Servei':
        posicio = 'S'+posicio # S'afegeix la lletra S per complir amb la
codificació
        c.execute('SELECT * FROM Serveis WHERE "Nomenclatura"=? AND "Codi
bot"=? AND "Efecte aplicat"=? AND "Nivell efecte"=?', (nomenclatura, posicio,
efecte, nivell_efecte))
    else:
        posicio = 'C'+posicio # S'afegeix la lletra C per complir amb la
codificació
        c.execute('SELECT * FROM Camp WHERE "Nomenclatura"=? AND "Codi bot"=?
AND "Efecte aplicat"=? AND "Nivell efecte"=?', (nomenclatura, posicio, efecte,
nivell_efecte))
        resultat = c.fetchall() # S'extreuen tots els llançaments que compleixen
amb els criteris donats
        i = int(random.uniform(0, len(resultat))) # Es calcula índex del llançament
a donar de manera aleatòria
        tir = resultat[i] # Llançament a donar
        conn.close() # Es desconnecta de la base de dades

```

```

    # Es retorna v0, alfa i beta, els últims es passen de string a float
    return tir[5], float(tir[6]), float(tir[7])

## FUNCIO PER OBTENIR LES OMEGA CORRESPONENTS
def efecte_omega(efecte, nivell_efecte):
    # Es crea un diccionari dels valors absoluts de velocitat d'acord al nivell
    d'efecte
    d_nivell_ef = {"Nivell 0": 0, "Nivell 1": 1000, "Nivell 2": 2000}
    # Segons l'efecte, s'estableix les velocitats de rotació N
    if efecte == "Cap":
        N_y = 0.01
        N_z = 0
    elif efecte == "Liftat":
        N_y = d_nivell_ef[nivell_efecte]
        N_z = 0
    elif efecte == "Tallat":
        N_y = -d_nivell_ef[nivell_efecte]
        N_z = 0
    elif efecte == "Lateral positiu":
        N_y = 0
        N_z = d_nivell_ef[nivell_efecte]
    elif efecte == "Lateral negatiu":
        N_y = 0
        N_z = -d_nivell_ef[nivell_efecte]
    # Es retorna les omega, en rad/s
    return N_y*math.pi/30, N_z*math.pi/30

## FUNCIO PER SABER SI LA MÀQUINA HA D'ESTAR ELEVADA
def elevacio(tipus):
    if tipus == 'Servei':
        return True
    else:
        return False

## FUNCIO DE CàLCUL DE LES OMEGA DE LES POLITGES
def gir_politges(velocitat, efecte, nivell_efecte):
    R_politja = 0.1 # Radi de la politja
    r_tennis = 0.033 # Radi de la pilota
    (omega_y, omega_z) = efecte_omega(efecte, nivell_efecte) # S'obte les omega
    segons l'efecte del llançament
    v0 = float(velocitat)/3.6 # Es passa la velocitat a m/s
    # S'apliquen les equacions pel càlcul de les omega segons l'efecte aplicat
    if efecte == "Cap":
        w_sup = v0/R_politja
        w_esq = w_sup
        w_dre = w_sup
        return w_sup, w_esq, w_dre
    elif efecte == "Liftat" or efecte == "Tallat":
        w_sup = (1/R_politja)*(v0+omega_y*r_tennis)
        w_esq = (2*v0-omega_y*r_tennis)/(2*R_politja)
        w_dre = w_esq
        return w_sup, w_esq, w_dre
    else:
        w_sup = v0/R_politja
        w_esq = (2*v0+math.sqrt(3)*omega_z*r_tennis)/(2*R_politja)
        w_dre = (2*v0-math.sqrt(3)*omega_z*r_tennis)/(2*R_politja)
        return w_sup, w_esq, w_dre

## ELEMENT NECESSARI EN EL PROGRAMA
if __name__ == '__main__':
    main()

```

Figura H.1 Codi del programa del nucli de control en Python.